

510, 017
Rec'd PCT/PTO 01 OCT 2004

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

10/510017

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
9. Oktober 2003 (09.10.2003)

PCT

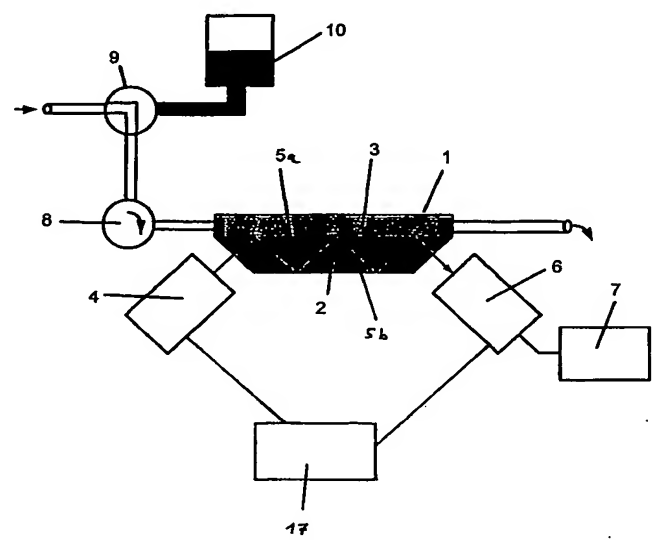
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/083458 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01N 21/55, (72) Erfinder; und
21/35 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÄNTELE, Werner
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/03496 [DE/DE]; Meisenweg 21, 63825 Blankenbach (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 3. April 2003 (03.04.2003) KLEIN, Oliver [DE/DE]; Waldschulstrasse 17A, 65933
Frankfurt am Main (DE). ZSCHERP, Christian [DE/DE];
Hinter'm Alten Ort 23, 61169 Friedberg-Ossenheim (DE).
(25) Einreichungssprache: Deutsch BARTH, Andreas [DE/DE]; Burnitzstrasse 55, 60596
Frankfurt am Main (DE). VON LILIENFELD-TOAL,
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch Hermann [DE/DE]; Wilhelm-Schröffer Strasse 33,
65371 Gelnhausen (DE). VON PROLLIUS, Hellmuth
(30) Angaben zur Priorität: [DE/DE]; Planufer 92 E, 10967 Berlin (DE). VON GER-
MAR, Frithjof [DE/DE]; Mäglöckchenweg 7, 55126
102 14 780.9 3. April 2002 (03.04.2002) DE Mainz (DE). OFFERMANN, Heribert [DE/DE]; Grü-
102 14 781.7 3. April 2002 (03.04.2002) DE naustrasse 2, 63457 Hanau (DE).
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): JOHANN WOLFGANG GOETHE-UNI-
VERSITÄT FRANKFURT AM MAIN [DE/DE];
Senckenberganlage 31, 60054 Frankfurt am Main (DE). (74) Anwälte: METTEN, Karl-Heinz usw.; Boehmert &
Boehmert, Hollerallee 32, 28209 Bremen (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INFRARED MEASURING DEVICE, ESPECIALLY FOR THE SPECTROMETRY OF AQUEOUS SYSTEMS,
PREFERABLY MULTIPLE COMPONENT SYSTEMS

(54) Bezeichnung: INFRAROTMESSVORRICHTUNG, INSBESONDERE FÜR DIE SPEKTROMETRIE WÄSSRIGER SYS-
TEME, VORZUGSWEISE VON MEHRKOMONENTENSYSTEMEN



(57) Abstract: The invention relates to an infrared measuring device, especially for the spectrometry of aqueous systems. Said device comprises at least one measuring unit, especially a measuring cell, also comprising at least one ATR-body and at least one infrared light source. The measuring unit contains at least one ATR-body which comprises at least two planar, substantially parallel limiting surfaces and which is transparent with respect to measuring radiation and which has an index of refraction which is greater than that of the medium which is arranged next to at least one limiting surface and which is to be examined, especially larger or equal to 1.5. The IR-measuring radiation on at least one of the planar, parallel limiting surfaces of the ATR-body can be totally reflected in an attenuated manner by at least six times.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 03/083458 A2



(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Infrarotmessvorrichtung, insbesondere für die Spektrometrie wässriger Systeme, umfassend mindestens eine Messeinheit, insbesondere eine Messzelle, umfassend mindestens einen ATR-Körper und mindestens eine Infrarot-Lichtquelle, wobei die Messeinheit mindestens einen ATR-Körper enthält, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen umfasst, der für die Messstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der grösser ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere grösser oder gleich 1.5, wobei die IR-Messstrahlung an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers mindestens sechsmal abgeschwächt totalreflektierbar ist.

Infrarotmeßvorrichtung, insbesondere für die Spektrometrie
wässriger Systeme, vorzugsweise von Mehrkomponentensystemen

Die vorliegende Erfindung betrifft Infrarotmeßvorrichtungen, insbesondere für wässrige Systeme, die mindestens eine Meßeinheit, insbesondere eine Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper sowie mindestens eine Infrarot-Lichtquelle umfassen. Des weiteren betrifft die Erfindung die Verwendung der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung für die, insbesondere im wesentlichen simultane, qualitative und quantitative Bestimmung von Inhaltsstoffen in insbesondere wässrigen Systemen, vorzugsweise Mehrkomponentensystemen.

Die Infrarotspektroskopie ist dem Fachmann hinlänglich bekannt und wird insbesondere in der organischen Chemie zur Bestimmung funktioneller Gruppen eingesetzt (s.a. Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie, M. Hesse et. al., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1984, Kapitel 2), wobei sich die Proben in allen drei Aggregatzuständen sowie im gelösten Zustand vermessen lassen. Neben dem Einsatz in der Strukturaufklärung ist auch bereits vorgeschlagen worden, IR-spektroskopische Verfahren für die Prozeßanalytik einzusetzen.

In der DE 36 05 518 A1 wird eine Meßzelle für die IR-Spektrometrie beschrieben, mit der sich auch von kleinen Probemengen Absorptions- bzw. Emissionsspektren kontinuierlich aufnehmen lassen, so daß z.B. chromatographisch aufgetrennte Probefractionen kontinuierlich detektiert werden können. Man verwendet hierfür eine Meßzelle, die über einen sogenannten ATR-Kristall (ATR = Attenuated Total Reflection) verfügt. Als Infrarotlichtquelle kommt eine solche mit kontinuierlichem Spektrum zum Einsatz. Sobald die, eine Innenwand der Meßzelle bildende Fläche des ATR-Kristalls mit einer stationären Phase eines Chromatographieverfahrens versehen werden soll, um eine die Meßzelle durchströmende Probe zu untersuchen, wird vorgeschlagen, parallel oder nachfolgend auch ATR-Fluoreszenz-, Phosphoreszenz- oder Raman-Spektren zu messen. Um auch sehr geringe Probenmengen vermessen zu können, wird in der DE 36 05 518 A1 eine Meßzelle offenbart, deren mittlerer Bereich durch ein zusätzliches Element ausgefüllt wird, wodurch die Konstruktion dieser Meßzelle sehr kompliziert wird und ein Verstopfen beim Durchfließen nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Um die Messung dennoch fortführen zu können, ist dann zumeist die komplette Meß-

BESTÄTIGUNGSKOPIE

zelle auszuwechseln. Im übrigen sind der DE 36 05 518 über die kontinuierliche Kontrolle von Chromatographieverfahren hinaus keine Hinweise zu entnehmen, ob bzw. gegebenenfalls wie sich mit der beschriebenen Meßzelle bestimmte Substanzen qualitativ oder quantitativ ermitteln lassen.

In der DE 100 15 615 A1 wird eine Meßanordnung für den Spurennachweis von gasförmigen Substanzen, die in extrem geringen Konzentrationen vorliegen, beschrieben. Hierbei handelt es sich um ein Gasmeßsystem mit einer offenen optischen Meßstrecke zur spektroskopischen Messung mindestens einer Komponente einer Gasprobe mit einer Laserquelle, enthaltend eine Referenzgasprobe für das zu messende Gas, zwei Strahlungsdetektoren für den Hauptstrahl und den Referenzstrahl und mindestens zwei Strahlungsreflektoren. Mit dem offenbarten Gasmeßsystem lassen sich z.B. optische Meßstrecken von 1 bis 200 Metern vermessen, wobei auf einen Retroreflektor verzichtet werden kann. Als Laserquellen kommen ein pulsformige Strahlung im nahen bis mittleren Infrarotbereich emittierender Quantenkaskadenlaser oder eine im nahen Infrarotbereich im Dauerbetrieb kontinuierliche Strahlung aussendende Laserdiode, die ein stark divergentes Strahlenbündel mit einem Öffnungswinkel α von etwa 35° emittiert, zum Einsatz. Mit dem Gasmeßsystem gemäß DE 100 15 615 A1 lassen sich Gase wie Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Salzsäure und Methan detektieren.

Gemäß DE 43 24 141 A1 lassen sich auch niedrige Isopropanol-Gehalte (< als 10%) in Feuchtemitteln für Druckmaschinen kontinuierlich bestimmen, wenn man mit einer getakteten IR-Strahlungsquelle nach einem modifiziertem Vier-Strahl-Verfahren arbeitet. Als Infrarot-Strahlungsquelle kommt wiederum eine solche mit einem kontinuierlichen Spektrum im nahen Infrarotbereich in Betracht. Weitergehende Angaben zum Infrarotmeßverfahren sind diesem Dokument ebenfalls nicht zu entnehmen.

Um die Konzentration von Inhaltsstoffen in wässrigen Flüssigkeiten verläßlich und reproduzierbar bestimmen zu können, ist gemäß DE 197 48 849 A1 der zu messende Analyt vor der Messung gezielt einer chemischen Reaktion zu unterwerfen, welche die übrigen Bestandteile der flüssigen Probe unbeeinflußt läßt. Darüber hinaus hat die chemische Reaktion mit dem Analyten derart zu sein, daß eine einwandfreie IR-spektrometrische Konzentrationsbestimmung ermöglicht wird. Wiederum werden keine anderen als die herkömmlichen, ein kontinuierliches Spektrum aufweisenden Infrarotquellen eingesetzt. Diese Vorgehensweise zur Bestimmung polarer Substanzen in wässrigen Systemen ist zudem sehr aufwendig und ko-

stenintensiv und darüber hinaus nur auf wenige Analyte, d.h. diejenigen, die die erforderliche chemische Reaktion eingehen, beschränkt.

Bei der Herstellung von alkoholischen wie nicht-alkoholischen Getränken ist es erforderlich, die Konzentration der jeweiligen Inhaltsstoffe möglichst zu jedem beliebigen Zeitpunkt, geeigneter Weise kontinuierlich, bestimmen zu können, um Produktausschuß zu minimieren und eine möglichst hohe Qualität sicherstellen zu können. Der Gehalt an z.B. Zucker oder Alkohol in Getränken wird trotz der mittlerweile zur Verfügung stehenden, weit entwickelten spektrometrischen Verfahren heutzutage immer noch über Dichte-Messungen ermittelt. Diese Verfahren sind sehr aufwendig, erfordern eine ausgefeilte und anspruchsvolle Meßtechnik und eignen sich nur bedingt für kontinuierliche Messungen, also beispielsweise für den On-line-Einsatz.

Insbesondere bei Qualitätsweinen läßt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Frage der Echtheit der ausgewiesenen Produkte zumeist nur mit Hilfe sehr kostspieliger Techniken, wie z.B. der mehrdimensionalen NMR-Spektroskopie, verläßlich feststellen. Zudem können nur hochqualifizierte Fachleute derartige NMR-Geräte betreiben und die mit diesen erhaltenen Spektren auswerten.

Darüber hinaus sind z.B. in der medizinischen Diagnostik selbst für Routineuntersuchungen von Blut oder Urin regelmäßig größere Probemengen erforderlich, was einen hohen Material- wie auch Personalaufwand mit sich bringt, und vom behandelten Patienten wie auch vom Personal häufig als unangenehm empfunden wird.

Der DE 197 34 618 A1 ist eine Analysevorrichtung zur in-vivo-Analyse im Körper eines Patienten zu entnehmen. Hierbei handelt es sich um eine Infrarotmeßvorrichtung in Form einer in die Haut einstechbaren Kanüle, die für die Spektrometrie von interstitieller Flüssigkeit im Hautgewebe, insbesondere zum Nachweis von Glucose, konzipiert ist und sich dabei eines ATR-Körpers sowie mindestens eines Quantenkaskadenlasers bedient. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer Lichtleitfaser, in die Strahlung eingekoppelt wird und die zumindest über einen Teilabschnitt perforiert ist, so daß interstitielle Flüssigkeit durch die Kanülenwand zu einem in der Kanüle verlaufenden Meßabschnitt der Lichtleitfaser gelangen kann. Um durch größere Moleküle wie Proteine verursachte Störeinflüsse zu vermeiden und eine hinreichende Meßgenauigkeit zu erreichen, ist gemäß der DE 197 34 618 A1 die Lichtleitfaser mit einer

semipermeablen Membran zu umhüllen. Durch geeignete Abdichtungsmaßnahmen ist ferner sicherzustellen, daß die interstitielle Flüssigkeit nicht durch verbleibende Spalten in einem störenden Umfang an die Lichtleitfaser gelangen kann. Um dieses zu bewerkstelligen, sind zusätzlich Epoxyharze anzubringen. Zum Schutz der Lichtleitfaser gegen Korrosion kann diese mit einer sehr dünnen, aufgedampften Metallschicht, z.B. aus Silber, versehen sein. Die üblicherweise sehr dünnen Lichtleitfasern sind häufig nur mit aufwendigen Laserbohrverfahren zu perforieren. Bei einem Porenanteil von vorzugsweise mindestens 50% gestaltet sich die Herstellung der Kanülen gemäß der DE 197 34 618 A1 daher sehr zeit- und kostenintensiv.

Die WO 96/10198 beschreibt eine spezielle Ausgestaltung einer für die ATR-Spektroskopie geeigneten Lichtleitfaser. Diese Lichtleitfaser verfügt über einen für Strahlung durchlässigen Kern und eine diese Strahlung an ihrer Innenwand reflektierende, den Kern umgebende Hüllschicht. Entlang eines Teilabschnitts ist der Lichtleitfaser ein im wesentlichen halbzylinderförmiges Element entnommen worden, so daß diese über eine einzelne ebene Fläche verfügt, an der die eingekoppelte Strahlung totalreflektiert werden kann. Dabei ist dafür Sorge zu tragen, daß die Umhüllung über die gesamte Länge der Lichtleitfaser eine Dicke aufweist, die das evaneszente Feld der eingekoppelten Strahlung nicht in Wechselwirkung mit einem die Lichtleitfaser umgebenden Medium treten läßt, da eine gezielte Wechselwirkung nur an der ebenen Fläche des beschriebenen Teilabschnitts stattfinden soll. Weitergehende Angaben sind diesem Dokument nicht zu entnehmen.

Die EP 0 206 433 A2 offenbart eine Tauchsonde für die IR-Spektroskopie enthaltend ein Prisma, in das über Lichtleitfasern Meßstrahlung eingekoppelt werden kann. Das für die Messung verwendete Prisma hat dabei über mindestens zwei in einem Winkel zueinander angeordnete benachbarte Meßflächen zu verfügen. Um eine hinreichende Meßgenauigkeit zu erreichen, bedarf das Verfahren der EP 0 206 433 A2 zur Konzentrationsbestimmung von Substanzen Referenzmessungen mit mindestens zwei Kalibrationsmedien, in denen die zu untersuchende Substanz in bekannter Konzentration vorliegt.

Auch in der DE 198 56 951 A1 wird eine ATR-Sonde beschrieben, die ein zylindrisches Schutzgehäuse aufweist, an dessen freiem Stirnende ein Prisma angeordnet ist, das über eine mit dem zu analysierenden Medium benetzbare Fläche verfügt, an welcher ein eingekoppelter Lichtstrahl reflektiert wird. Gemäß der DE 198 56 951 A1 lassen sich fluide Medien spektroskopisch mit einer derartigen Sonde in der Weise analysieren, daß zwei separate Lichtstrah-

len, die sich in ihrem Einfallswinkel auf die benetzbare Fläche des Prismas und/oder in ihrem Polarisationszustand unterscheiden, eingesetzt werden. Beispielsweise lassen sich aus den wellenlängenabhängigen Reflektionskoeffizienten für beide Winkel der Brechungsindex n und der Absorptionskoeffizient k numerisch berechnen.

Die DE 42 00 869 A1 offenbart ein Infrarotmikroskop-Spektrometer, mit dem sich auch eine spektrometrische ATR-Messung durchführen und bei dem sich die optische Achse leicht einstellen läßt.

Gemäß Hvozda et al. (Zusammenfassung des Konferenzberichts der International Conference on advanced vibrational spectroscopy ICAVS, Turku, Finnland, August 2001) kann man unter Verwendung von Strahlung im mittleren Infrarotbereich Sensoren zur Analyse wässriger Medien einsetzen, die unter Ausnutzung des Prinzips der abgeschwächten Totalreflektion die Absorption evaneszenter Wellen ausnutzen. Auf diese Weise lassen sich z.B. auf einer geeigneten Polymerbeschichtung angereicherte Analyte untersuchen. Zwar wird angedeutet, daß sich durch den Einsatz von Quantenkaskadenlasern neue Anwendungen erschließen lassen sollten, allerdings werden über diese generelle Wunschvorstellung hinaus keine weitergehenden Angaben gemacht.

Die EP 0 670 492 A2 befaßt sich mit der Bestimmung von im Urin enthaltenen Substanzen mittels Detektion und Analyse des Absorptionsverhaltens von Strahlung im sichtbaren und im nahen Infrarotbereich mit Hilfe der multivarianten Regressionsanalyse. Hierbei werden geeignete Wellenlängen unter Beachtung eines bestimmten Korrelationskoeffizientens zwischen der Konzentration und der Absorptionsfähigkeit einer wässrigen Lösung umfassend entsprechend standardisierte wässrige Lösungen der zu untersuchenden Analyte ausgewählt.

In der DE 43 33 560 A1 wird eine Meßzelle enthaltend einen ATR-Kristall in Form einer Eintauchsonde beschrieben, die zur On-line-Kontrolle chemischer Produktionsprozesse auch unter hohem Druck und bei hoher Temperatur eingesetzt werden kann und nur einen geringen Wartungsaufwand erfordert. Dieses wird dadurch erreicht, daß vor der Meßfläche des ATR-Kristalls eine Ultraschallquelle zur Reinigung der Meßfläche von Produktrückständen angeordnet ist. Die ATR-Meßzelle gemäß DE 43 33 560 A1 ist als Einbausonde für einen chemischen Reaktor konzipiert und verfügt über eine dem Produktraum zugewandte Meßfläche sowie eine verspiegelte Rückseite. Zwecks Auswertung der Meßstrahlung wird der den ATR-

Kristall verlassende Meßstrahl über ein Lichtleiterkabel einem FT-IR-Spektrometer zugeführt. Weitergehende Angaben zu den Grenzen und Möglichkeiten sowie Anwendungen, die über den Einsatz in der chemischen Verfahrenstechnik hinausgehen, sind diesem Dokument nicht zu entnehmen.

In der US 5,214,286 wird eine in der IR-Spektroskopie einsetzbare Vorrichtung beschrieben, mit der es gelingen soll, die runde Querschnittsform und Größe der bei FT-IR-Spektrometer verwendeten Strahlung an IR-Elemente anzupassen, die noch aus dispersiv arbeitenden Spektrometern stammen.

Gemäß der WO 99/05509 wird ein ATR-Körper dazu genutzt, biologische Moleküle, die sich vorzugsweise in Form einer sogenannten Monoschicht auf einer auf zumindest einer Seite des ATR-Körpers aufgebracht, sehr dünnen Metallschicht angelagert haben, zu analysieren. Vorzugsweise wird auf Goldschichten mit einer Dicke von 5 bis 10 nm zurückgegriffen. Die dem ATR-Körper entsprechende Meßstrahlung wird vorzugsweise über ein FT-IR-Spektrometer ausgewertet.

Auch feste Körper lassen sich gemäß der WO 99/66312 unmittelbar mit Hilfe eines IR-Spektrometers basierend auf der Verwendung eines ATR-Körpers analysieren. Dabei wird der feste Probenkörper mit hohem Druck auf die Oberfläche des ATR-Kristalls gepreßt. Für eine derartige Anwendung haben sich ATR-Prismen auf der Basis von Diamantmaterialien bewährt. Um das Meßergebnis nicht durch eine abgeschwächte totalreflektierende Wechselwirkung mit der Anpreßvorrichtung zu verfälschen, ist zwischen dem die Meßstrahlung ein- und auskoppelnden Prisma und dem dem Meßmedium zugewandten ATR-Körper großflächig eine Reflexionsschicht eingearbeitet, die nur ein- und ausgekoppelte Strahlen durchläßt. Auf die Messung flüssiger oder anderer Systeme mit Hilfe der dargestellten IR-Spektrometervorrichtung wird in der WO 99/66312 an keiner Stelle eingegangen.

In der EP 0 652 301 A1 wird ein Plasmabeschichtungsverfahren zur Herstellung einer dünnen diamantähnlichen Kohlenstoffbeschichtung mit Hilfe einer pyrolytischen Graphitkathode beschrieben. Allerdings finden sich in diesem Dokument keinerlei Hinweise, daß unter den beschriebenen Bedingungen der Plasmabeschichtung ebenfalls hochwertig beschichtete ATR-Körper zugänglich sind.

Es wäre daher wünschenswert, auf Vorrichtungen und Verfahren zurückgreifen zu können, mit denen sich auch geringe und auch sehr geringe Mengen an Inhaltsstoffen in insbesondere wässrigen Systemen qualitativ wie quantitativ auf einfache Weise sehr genau und schnell bestimmen lassen.

Der vorliegenden Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, eine Meßvorrichtung zu finden, die einfach herzustellen und zu handhaben ist, sich darüber hinaus durch äußerste Robustheit auch im Dauerbetrieb, z.B. unter Produktionsbedingungen bei der Herstellung von Getränken, sowie durch äußerste Präzision bei der qualitativen sowie quantitativen Bestimmung von Inhaltsstoffen in Flüssigkeiten auszeichnet. Ferner lag der Erfindung die Aufgabe zugrunde, mehrere nebeneinander in einer wässrigen Flüssigkeit vorliegende Inhaltsstoffe oder Bestandteile, insbesondere auch solche polarer Natur, gleichzeitig bzw. nahezu gleichzeitig analysieren zu können.

Demgemäß wurde eine Infrarotmeßvorrichtung gefunden, bei der die Meßeinheit mindestens einen ATR-Körper enthält, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen umfaßt, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei die IR-Meßstrahlung an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers mindestens sechsmal abgeschwächt totalreflektierbar ist. Die ebene Begrenzungsfläche des ATR-Körpers verfügt demnach vorteilhafterweise über eine durchgehende, einheitliche Meßstrecke, innerhalb derer ein Meßstrahl mindestens sechsmal abgeschwächt totalreflektierbar ist, d.h. mit einem angrenzenden Medium wechselwirken kann.

Bevorzugterweise sind die ebenen, im wesentlichen parallelen Begrenzungsflächen im wesentlichen unverspiegelt bzw. vollständig unverspiegelt ausgestaltet, verfügen also nicht über eine verspiegelte Fläche oder grenzen nicht an eine solche an.

Quantenkaskadenlaser, die für die erfindungsgemäße Meßvorrichtung geeignet sind, sind z.B. aus der EP 0 676 839 A sowie aus der US 5,509,025 bekannt, in denen deren grundsätzliche Funktionsweise sowie deren Aufbau beschrieben werden. Bevorzugt wird auf Quantenkaskadenlaser zurückgegriffen, die elektromagnetische Strahlung im mittleren Infrarotbereich abstrahlen. Für die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung kommen z.B. solche Quantenkas-

kadenlaser in Betracht, die nur eine definierte Frequenz, insbesondere aus dem Mittel-Infrarotbereich, abstrahlen, wie auch solche, die zwei, drei, vier, fünf oder mehrere Frequenzen, insbesondere aus dem Mittel-Infrarotbereich, abstrahlen können. Ferner kann auch auf solche Quantenkaskadenlaser zurückgegriffen werden, die definierte Frequenzbänder abstrahlen. Selbstverständlich können diese Infrarotmeßvorrichtungen auch nicht nur mit einem, sondern mit zwei oder mehreren der vorhergehend beschriebenen Quantenkaskadenlaser ausgerüstet sein. Sofern in einer erfindungsgemäßen Meßvorrichtung ein Quantenkaskadenlaser zum Einsatz kommt, der in der Lage ist, elektromagnetische Strahlung mindestens zweier unterschiedlicher Frequenzen, insbesondere aus dem Mittel-Infrarotbereich, abzustrahlen oder sofern mehrere Quantenkaskadenlaser in einer solchen Meßvorrichtung nebeneinander zum Einsatz kommen, kann die elektromagnetische Strahlung, insbesondere wenn sie unterschiedliche Frequenzen aufweist, zeitgleich oder nahezu zeitgleich oder auch in zeitlicher Abfolge abgestrahlt werden. Auf diese Weise ist es möglich, das spektrometrische Verhalten einer Substanz in einer Probe umfassend zu charakterisieren. Des weiteren ist es möglich, mehrere in einer Probe vorliegende Inhaltsstoffe in kürzester Zeit, d.h. gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig, zu untersuchen. Nahezu zeitgleich bzw. gleichzeitig im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet, daß Signale so geringfügig zeitlich versetzt abgestrahlt werden, daß aus den jeweils detektierten Absorptionssignalen keine signifikanten Unterschiede gegenüber den bei absolut gleichzeitig ausgesendeter Strahlung detektierten Absorptionssignalen zu erkennen sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird von dem eingesetzten Quantenkaskadenlaser elektromagnetische Strahlung in Form von Pulsen mit definierter Zeitdauer und/oder Intensität emittiert. Diese Pulsdauer und/oder Intensität ist in weiten Bereichen frei wählbar und kann dazu benutzt werden, um für jeden zu untersuchenden Inhaltsstoff optimierte spektrometrische Untersuchungsbedingungen zu erzeugen. So können, wenn mehrere Inhaltsstoffe in einer Probe vermessen werden sollen, je nach Frequenz der emittierten elektromagnetischen Strahlung unterschiedlich lange Pulsdauern und/oder unterschiedlich starke Intensitäten gewählt werden. Beispielsweise können Inhaltsstoffe mit schwach absorbierenden Chromophoren Pulsen längerer Pulsdauer ausgesetzt werden, während bei stark absorbierenden Substanzen sehr kurze Pulsdauern ausreichen, um ein zufriedenstellendes Signal detektieren zu können. Bereits dieses unterschiedliche Absorptionsverhalten kann für die Analyse verwendet werden und in einer in Wirkverbindung mit einem Detektor stehenden Auswerteeinheit zwecks sofortigen Abgleichs abgespeichert bzw. in geeignete Analyseprogramme eingebun-

den werden. Demgemäß ist es mit der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung möglich, elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Frequenz, entweder ausgehend von nur einem Quantenkaskadenlaser oder aber durch Verwendung mehrerer Quantenkaskadenlaser, in beliebiger Abfolge, beispielsweise in sequentieller Folge abzustrahlen. Dieses trifft insbesondere auch auf die vorhergehend beschriebene gepulste Strahlung zu.

Über die freie Wahl der Pulsfolge der abgestrahlten Frequenzen der elektromagnetischen Strahlung können erfindungsgemäß Pulsmuster und/oder Intensitätsmuster verwendet werden, die auf das jeweilige Analyseproblem zugeschnitten sind. Beispielsweise können bei Kenntnis oder begründeter Vermutung der in einer Flüssigkeit vorliegenden bzw. möglicherweise vorliegenden Inhaltsstoffe die Frequenzen, Pulsdauern und/oder Intensitäten derart vorgegeben werden, daß sich über die Art und den Umfang der detektierten Signale mit Hilfe einer Auswerteeinheit, insbesondere einer computergestützten Auswerteeinheit, ohne weiteres ermitteln läßt, welche Inhaltsstoffe in welchen Konzentrationen, in der untersuchten Probe vorliegen. Diese Muster an Pulsabfolge, Pulslänge und/oder Pulsintensität von zwei oder mehreren Frequenzen können wiederum dazu genutzt werden, bestimmte Muster an Antwortsignalen zu erzeugen, die für bestimmte Zusammensetzungen charakteristisch sind. Auf diese Weise ist es möglich, innerhalb von kürzester Zeit festzustellen, ob bzw. in welcher Konzentration bestimmte Inhaltsstoffe in einer Probe vorliegen. Besonders bevorzugt wird demgemäß elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Frequenz und/oder Intensität nach einem Multiplex-Muster, insbesondere pulsweise, abgestrahlt. Hierbei kann zum einen auf bekannte Multiplex-Spektrometer oder elektrische Multiplexer, die vorrangig detektorseitig zum Einsatz kommen, zurückgegriffen werden. Zum anderen werden erfindungsgemäß bevorzugt auch solche Multiplexer eingesetzt, die nicht nur den Detektor beeinflussen bzw. wellenlängenspezifisch steuern, sondern die auch die zu emittierenden Wellenlängen und/oder Intensitäten auswählen und die Ausstrahlungsabfolge bzw. das Ausstrahlungsmuster steuern. Der erfindungsgemäß zum Einsatz kommende Multiplexer steuert bzw. regelt gemäß einer weiteren Ausführungsform zusätzlich auch die Intensität der jeweiligen Meßstrahlung, insbesondere in Abhängigkeit vom jeweiligen Meßproblem. Diese sogenannten optischen Multiplexer koordinieren somit die Strahlungsquelle und den Detektor und stimmen diese aufeinander ab. Derartige Multiplexer schalten dabei unter anderem Meßstrahlung nach einer auf das Meßproblem zugeschnittenen Pulsfolge ein und aus, insbesondere unter wellenlängenabhängiger Modulierung der Intensität, und steuern folglich die Lichtquelle. Die detektierten Signale werden vorzugsweise mit Hilfe bekannter Methoden wie der Faktoranalyse, den Multiple Least Squa-

re Algorithmen oder der neuronalen Netzwerk-Analyse ausgewertet. Hierfür wird regelmäßig auf computergestützte Auswerteeinheiten zurückgegriffen.

Darüber hinaus ist es unter Verwendung von Quantenkaskadenlasern möglich, nicht nur Strahlung unterschiedlicher Frequenzen und/oder Intensitäten in bestimmter zeitlicher Abfolge durch den ATR-Körper zu senden. Vielmehr kann man ebenfalls unterschiedliche Frequenzen zeitgleich abstrahlen, wobei insbesondere Anzahl und Frequenz der emittierten Strahlung fortwährend variiert werden können. Auf diese Weise lassen sich Frequenzmuster zusammenstellen, die charakteristische Absorptionssignale für zu untersuchende Zusammensetzungen generieren, wodurch Vielkomponentenmischungen, insbesondere auch in wässrigen Systemen, in kurzer Zeit analysiert werden können. Die vorhergehend beschriebene Analyse-methode kann auch mit Matrix-Codierung/Matrix-Dekodierung bezeichnet werden.

Die erfindungsgemäße Ausführungsform einer FT-IR-Meßvorrichtung verfügt über mindestens eine Lichtquelle, die in der Lage ist, fortwährend ein kontinuierliches oder ein Mehrwellenlängen-Spektrum zu emittieren. Derartige Lichtquellen sind dem Fachmann zum Beispiel als Nernst-Stifte, welche im wesentlichen aus Zirkonoxid und Zusätzen an Seltenen Erden bestehen, sowie als sogenannte Globare, im wesentlichen bestehend aus Siliciumcarbid, bekannt. Ferner kommt als Lichtquelle eine elektrisch leitende Keramik in Frage. Grundsätzlich können Lichtquellen eingesetzt werden, die über den gesamten spektralen Infrarot-Bereich oder nur über bestimmte Bereiche dieses Spektrums emittieren. Zur Bestimmung von Inhaltsstoffen mit der erfindungsgemäßen FT-IR-Meßvorrichtung kommen bevorzugt solche Lichtquellen zum Einsatz, die im mittleren Infrarotbereich elektromagnetische Strahlung emittieren, also im Bereich von etwa 2 μm bis etwa 25 μm , insbesondere von etwa 2,5 μm bis etwa 12 μm .

Das im Detektor der FT-IR-Spektrometrie-vorrichtung aufgezeichnete Interferogramm, das eine Überlagerung aller im Spektrum auftretenden Wellenlängen aufzeichnet, wird in der Auswerteeinheit rechnergestützt durch Fourier-Transformation in die Frequenzen der einzelnen Schwingungen zerlegt. Einzelheiten zur Fourier-Transformation sind z.B. bei N.B. Colthup, L.H. Daly, S.E. Wiberley, Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy, Academic Press, San Diego, 1990, zu finden, worauf hiermit Bezug genommen wird. Mit der erfindungsgemäßen FT-IR-Meßvorrichtung lassen sich mehrere Inhaltsstoffe im wesentlichen zeitgleich mit hoher Empfindlichkeit, Schnelligkeit und Wellenzahlenpräzision bestimmen.

Als Detektoren für die Registrierung der Meßstrahlung kann auf alle gängigen, in Infrarotmeßvorrichtungen zum Einsatz kommenden Systeme zurückgegriffen werden.

Soweit die detektierten Signale noch weiter aufbereitet bzw. ausgewertet werden sollen, kommen hierfür dem Fachmann hinlänglich bekannte Auswerteeinheiten, insbesondere computergestützte Auswerteeinheiten in Betracht. Eine Auswerteeinheit im Sinne der vorliegenden Erfindung kann auch einen Datenspeicher und/oder eine Anzeigeeinheit, z.B. einen Schreiber oder einen Bildschirm, umfassen. Diese Elemente können selbstverständlich auch separat vorliegen.

In einer bevorzugten Ausführungsform verfügt die erfindungsgemäße Meßvorrichtung über eine auswechselbare Auswerteeinheit. Beispielsweise kann eine erste Auswerteeinheit gegen eine zweite oder weitere Auswerteeinheit ausgetauscht werden. Dieses kann sowohl nach Beendigung einer ersten Messung bzw. einer in sich abgeschlossenen Messung als auch während eines Meßvorgangs geschehen, z.B. wenn man feststellt, daß eine gesuchte Verbindung nicht vorliegt oder sich hat ohne weiteres nachweisen lassen, so daß im folgenden die Suche nach einem weiteren Inhaltsstoff in Angriff genommen werden kann. Dieses hat den Vorteil, daß z.B. auf einer ersten Auswerteeinheit ein Auswertungsprogramm für ein bestimmtes Analyseproblem vorliegt, das bei Änderung der Analyseaufgabenstellung gegen eine zweite bzw. weitere Auswerteeinheit mit einem auf die neue Aufgabenstellung zugeschnittenen Auswertungsprogramm ausgewechselt werden kann. Bevorzugt liegen die Auswerteeinheiten in Form von Auswertemodulen vor, mit denen sich auf einfache Weise Wirkverbindungen mit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung, insbesondere mit dem Detektor, herstellen lassen, z.B. in Form von Einsteck- oder Einschiebmodulen. Als vorteilhaft hat sich erwiesen, die jeweiligen Auswerteeinheiten durch unterschiedliche Form- und/oder Farbgebung unterscheidbar zu machen. Des weiteren können zwei oder mehrere Auswerteprogramme auf einer Auswerteeinheit vorliegen, die in einer Ausführungsform je nach Bedarf freischaltbar sind. Über die Auswerteeinheit läßt sich beispielsweise auch der Multiplexer beeinflussen oder ansteuern. Mit der Auswerteeinheit kann somit auch Einfluß genommen werden auf die Strahlungsquelle(n) bzw. für ein bestimmtes Analyseproblem eine Frequenzwahl, Pulsfolge und Intensitätszuweisung der abgestrahlten Meßstrahlung vorgegeben werden.

Die in der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung zum Einsatz kommende Meßeinheit enthält mindestens einen ATR-Körper. ATR-Körper werden im Stand der Technik auch als

ATR-Kristalle bezeichnet, wenngleich diese Systeme nicht notwendigerweise in Kristallform vorliegen müssen. Demgemäß stellt z.B. auch gesintertes Silberchlorid einen funktionstüchtigen ATR-Körper/-Kristall dar. Grundsätzlich sind vorliegend solche ATR-Körper geeignet, die für die Meßstrahlung ganz oder teilweise transparent sind.

Als Material für den verwendeten ATR-Körper kommt jedes beliebige Material in Frage, das für die verwendete Strahlung, insbesondere für elektromagnetische Strahlung im Mittel-Infrarotbereich, transparent ist und das darüber hinaus stark lichtbrechend bzw. hochbrechend ist und über einen Brechungsindex verfügt, der größer ist als der von Luft und/oder als der eines mit der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung zu analysierenden bzw. analysierbaren Mediums. Geeignete Materialien für den ATR-Körper umfassen Diamant, Saphir, Cadmiumtellurid, Thalliumbromid-Jodid, Silizium, Germanium, Zinkselenid, Zinksulphid, Magnesiumdifluorid, Cäsiumjodid, Silberchlorid, Kalziumdifluorid, Kaliumbromid oder Natriumchlorid. Für den Fachmann ist ersichtlich, daß bestimmte der vorgehend genannten Materialien aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit für die Vermessung wässriger Systeme nicht in Betracht kommen, z.B. ein ATR-Körper aus Natriumchlorid. In einer weiteren Ausführungsform wird auf ATR-Körper aus einem für Infrarotstrahlung transparenten Werkstoff, insbesondere einem Polymerwerkstoff, mit einem Brechungsindex vorzugsweise ≥ 1.5 , insbesondere aus Polyethylen, zurückgegriffen.

Der ATR-Körper bildet vorzugsweise mit mindestens einer ebenen Begrenzungsfläche eine Seitenwand der Meßeinheit bzw. -zelle. Unter der Maßgabe, daß der ATR-Körper über zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen verfügt, kann dieser ATR-Körper ansonsten in beliebiger Geometrie vorliegen, solange diese zuläßt, daß ein einfallender Strahl derart justiert werden kann, daß dieser vor seinem Austritt aus dem ATR-Körper insgesamt mindestens zweimal oder dreimal, bevorzugt mindestens sechsmal, vorzugsweise mindestens siebenmal an einer oder mehreren ebenen, im wesentlichen parallelen Begrenzungsflächen abgeschwächt totalreflektiert worden ist. In einer Ausführungsform der Erfindung werden mit sechs oder sieben solcher Totalreflexionen bereits optimale Analyseergebnisse hinsichtlich Empfindlichkeit, Genauigkeit und Schnelligkeit auch für wässrige Mehrkomponentensysteme erzielt. Dabei hat der ATR-Körper in Form und Größe derart ausgestaltet zu sein, daß die mindestens sechs oder sieben abgeschwächten Totalreflexionen entlang einer Meßstrecke stattfinden. Unter Meßstrecke wird vorliegend derjenige Abschnitt des ATR-Körpers verstan-

den, der in Kontakt mit dem zu analysierenden Medium tritt und der insgesamt für abgeschwächte Totalreflexionen zur Verfügung steht.

In einer weiteren Ausführungsform bestehen mindestens zwei Begrenzungsflächen der Meßeinheit oder -zelle, insbesondere sich gegenüberliegende Wände der Meßzelle, aus jeweils einem ATR-Körper, insbesondere jeweils einen ATR-Körper enthaltend mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen. Darüber hinaus kann auch die gesamte Meßzelle aus einem ATR-Körper gefertigt sein.

In einer weiteren, bevorzugten Ausgestaltung stellt die Meßzelle eine Durchflußzelle dar. Diese hat den Vorteil, daß z.B. auch Prozeßabläufe in unterschiedlichsten Herstellungsverfahren, vorzugsweise im On-line-Modus, untersucht werden können. Diese Durchflußzellen eignen sich besonders für den Einsatz in der Prozeßanalytik und in der Untersuchung von Körperflüssigkeiten, z.B. Blut.

Darüber hinaus ist es möglich, die Meßzelle bzw. den ATR-Körper auch als Tauchsonde auszugestalten, um z.B. Probensysteme, die sich anderweitig schlecht oder überhaupt nicht vermessen lassen, mit Hilfe der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung zu analysieren. Eine derartige Tauchsonde eignet sich insbesondere auch für Stichprobenkontrollen in unterschiedlichsten Verfahren, bei denen wässrige wie auch nicht-wässrige Systeme zum Einsatz kommen. Beispielsweise können bei Verwendung einer Tauchsonde auf einfache Weise Urin, Blut, Fruchtsäfte, Bier, Spirituosen, Wein, Waschlaugen oder Abwasser auf Inhaltsstoffe, z.B. polare Substanzen wie Saccharide, z.B. Glucose, Alkohole, z.B. Ethanol, oder Phosphorsäureester, untersucht werden. Des weiteren gelingt die Analyse von Inhaltsstoffen in Milch und Milchprodukten wie Quarkspeisen oder Joghurt, ohne daß es einer besonderen Aufbereitung dieser Produkte bedürfte.

In einer weiteren Ausführungsform ist wenigstens eine Begrenzungsfläche des ATR-Körpers, die dem zu analysierenden Medium aussetzbar bzw. ausgesetzt ist, mit einer Beschichtung versehen, die für die Meßstrahlung transparent ist. Insbesondere wenn die Beschichtung eine Stärke aufweist, die geringer ist als die Wellenlänge der verwendeten Meßstrahlung, kann auf jedwedes für die Meßstrahlung transparente Beschichtungsmaterial zurückgegriffen werden. Die Dicke bzw. Stärke der Beschichtung ist dagegen unkritisch, wenn es sich bei dem Beschichtungsmaterial um ein solches für einen ATR-Körper handelt, d.h. in etwa eine Brech-

zahl aufweist, die der des jeweils eingesetzten ATR-Körpers entspricht. Beispielsweise kann ein ATR-Material wie Zinksulfid oder Zinkselenid, das besonders bevorzugt für die erfindungsgemäß eingesetzten ATR-Körper verwendet wird, mit einer Schicht aus Diamant versehen werden. Man erhält auf diese Weise einen mit einer äußerst widerstandsfähigen und inerten Beschichtung versehenen ATR-Körper. Besonders bevorzugt wird die Diamantschicht nach einem von H. J. Neubert in Optics, Februar 2002, Seite 11, beschriebenen Verfahren aufgetragen. Danach wird mit Hilfe eines Kohlendioxidlasers mit einer Leistung von etwa 6 bis 7 kW in der Nähe einer Oberfläche eine Temperatur im Bereich von 15.000 bis 20.000°C erzeugt. Durch Einleiten von Argon in diesen Bereich wird ein Plasma erzeugt. Gibt man gasförmige Kohlenwasserstoffe, beispielsweise Methan, in dieses Plasma werden freie Kohlenstoffatome gebildet, die sich auf einem Substrat, im vorliegenden Fall auf eine ebene Begrenzungsfläche eines ATR-Körpers, unter Ausbildung einer Diamantschicht sehr geringer Stärke niederschlagen lassen. Von Vorteil ist die vorhergehend beschriebene Beschichtung insbesondere bei Materialien für ATR-Körper, die toxisch, löslich, z. B. im Probenmedium, und/oder empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung sind. Besonders geeignet für die erfindungsgemäße Meßvorrichtung sind ATR-Körper aus Zinksulfid oder Zinkselenid, die mit einer Beschichtung, insbesondere einer Diamantbeschichtung, versehen sind.

In einer bevorzugten Ausgestaltung verfügt die Beschichtung des ATR-Körpers der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung über eine Stärke, die geringer ist als die, vorzugsweise halbe, Wellenlänge der verwendeten Infrarot-Meßstrahlung, insbesondere über eine Stärke im Bereich von etwa 2 nm bis etwa 25 μm , besonders bevorzugt von etwa 2 μm bis etwa 12 μm sowie insbesondere bei etwa 5 μm . Ein geeigneter Beschichtungsstärkenbereich erstreckt sich somit auch von 2 nm bis 12 μm . Die Dicke der Beschichtung liegt besonders bevorzugt in einem Bereich von etwa einem Viertel der Meßwellenlänge. Ferner empfiehlt es sich, eine Beschichtung einzusetzen, die hinsichtlich Dicke und Zusammensetzung homogen ist und eine möglichst glatte Oberfläche aufweist. Dabei ist es von Vorteil, wenn die Unebenheiten in der Beschichtung das Ausmaß von etwa einem Viertel der Meßwellenlänge im Durchschnitt nicht überschreiten. Geeigneterweise wird auf solche Beschichtungen zurückgegriffen, die die Meßstrahlung nicht, auch nicht partiell, reflektieren. Die Beschichtung erfüllt eine Doppelfunktion, indem sie einerseits das Meßmedium vor einer Kontamination mit, gegebenenfalls toxischem, ATR-Körper-Material sowie andererseits den ATR-Körper vor mechanischer Beschädigung schützt. Bei der Untersuchung von wässrigen Systemen haben sich insbesondere

Beschichtungen bewährt, die eine Diffusion von Wassermolekülen durch diese Schicht zu dem ATR-Körper nicht zulassen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann an Stelle einer Diamantbeschichtung auch eine Schicht aus einem transparenten oder transluzenten Kunststoff, insbesondere Polyethylen eingesetzt werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden die mit einer Beschichtung versehenen ATR-Körper-Materialien ausgewählt aus Saphir, Cadmiumtellurid, Thalliumbromid-Jodid, Silizium, Germanium, Zinksulphid, Zinkselenid, Magnesiumdifluorid, Cäsiumjodid, Silberchlorid, Kalziumdifluorid, Kaliumbromid und Natriumchlorid, wobei Zinkselenid und Zinksulfid bevorzugt sind.

Insbesondere auch dadurch, daß bei den erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtungen elektromagnetische Strahlung von zwei oder mehreren Frequenzen gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig eingesetzt werden kann, wird sowohl beim Einsatz als Meßzelle wie auch insbesondere bei Verwendung als Tauchsonde stets nur kurzfristig und im allgemeinen zerstörungsfrei in das zu untersuchende System eingegriffen.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung stellt die Meßeinheit eine druckstabile Meßeinheit dar. Eine erfindungsgemäße Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, zeichnet sich demgemäß auch dadurch aus, daß die Meßeinheit mindestens einen ATR-Körper enthält, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen umfaßt, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei die Meßeinheit druckstabil ist. Druckstabil im Sinne der vorliegenden Erfindung soll auch umfassen, daß die Meßeinheit auch bei hohen Außen- wie auch hohen Innendrücker im wesentlichen einwandfrei funktioniert, daß z.B. keine Undichtigkeiten oder Beschädigungen auftreten und daß der Meßvorgang nicht durch hohe Außendrücker gestört wird. Bevorzugt wird auf Meßeinheiten, insbesondere Meßzellen, vor allem Durchflußzellen, sowie Tauchsonden zurückgegriffen, die auch bei insbesondere Außendrücker bis etwa 100 bar noch druckstabil sind. Als besonders zweckmäßig haben sich solche Meßeinheiten erwiesen, die im Bereich von 1 bis 25 bar druckstabil sind. Insbesondere haben auch die ATR-Körper als solche druckstabil ausgeführt zu sein und beispielsweise über

angemessene Stärken zu verfügen. Druckstabile Meßeinheiten eignen sich beispielsweise für den Einsatz in der Prozeßanalytik, z.B. um ohne die Herstellbedingungen zu ändern, den tatsächlichen Fortgang des Herstellprozesses in Echtzeit verfolgen zu können. Druckstabile Meßeinheiten können demgemäß bei der Getränkeherstellung, z.B. bei der Bierherstellung, oder auch bei chemischen Verfahren eingesetzt werden. Hierbei ist auch von Vorteil, daß sich mit der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung unter Zuhilfenahme einer druckstabilen Meßeinheit polare Substanzen, z.B. Kohlenhydrate und Alkohole, qualitativ und quantitativ bestimmen lassen.

Mit der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung lassen sich sowohl einzelne Inhaltsstoffe als auch komplexe Mischungen an Inhaltsstoffen in Probesystemen eindeutig und exakt insbesondere unter Verwendung von elektromagnetischer Strahlung im mittleren Infrarotbereich untersuchen und charakterisieren, wobei es gelingt, Inhaltsstoffe insbesondere in wässrigen Systemen qualitativ und/oder quantitativ zu bestimmen.

Damit liegt erstmalig auch eine, insbesondere auch im On-line-Betrieb einsetzbare, Infrarot-Meßvorrichtung vor, die für die Analyse von wässrigen Systemen, wie insbesondere Bier, Wein, Spirituosen, Softdrinks, Fruchtsäften, Abwasser, Waschlauge, Prozeßflüssigkeiten oder Körperflüssigkeiten, wie Blut, Speichel, Lymphe oder Urin, eingesetzt werden kann. Beispielsweise ist es möglich, den Zucker- und/oder den Alkoholgehalt, beispielsweise den Glucose- und/oder Ethanolgehalt, in Flüssigkeiten gleichzeitig bzw. nahezu gleichzeitig zu bestimmen. Bei Kenntnis der in einer Probe möglicherweise vorliegenden Inhaltsstoffe kann die Suche nach zu detektierenden Signalen auf ganz bestimmte Frequenzen bzw. Frequenzbereiche eingeschränkt werden, wodurch sehr hohe Empfindlichkeiten zu erzielen sind. Beispielsweise können mit Hilfe der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung auch in wässrigen Systemen nebeneinander vorliegende unterschiedliche Saccharidverbindungen, wie z.B. Fructose, Glucose und Galaktose, identifiziert werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden z.B. Inhaltsstoffe von Getränken, wie Bier, Wein, Spirituosen, Milch, Milchprodukten, Softdrinks oder Fruchtsäften, bei der Herstellung bzw. Verarbeitung und/oder beim Abfüllen mit Hilfe der erfindungsgemäßen FT-IR-Meßvorrichtung unter Verwendung einer Durchflußzelle qualitativ und quantitativ bestimmt. Bei diesen, gegebenenfalls auch nebeneinander vorliegenden Inhaltsstoffen kann es sich z.B. um Alkohole, wie Ethanol, Methanol, Propanol oder Butanol, Kohlenhydrate, Koh-

lensäure und/oder Proteine handeln, wobei die Inhaltsstoffe unabhängig von ihrer Größe nebeneinander analysierbar sind.

In einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung wird die erfindungsgemäße Vorrichtung dazu genutzt, die Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse quantitativ und/oder qualitativ zu bestimmen. Dabei kann in einer Ausführungsform eine ebene Fläche eines ATR-Körpers einer Meßeinheit auf das, beispielsweise frisch aufgeschnittene, Fruchtfleisch von Obst oder Gemüse aufgelegt oder eingepreßt werden. Ein nachfolgend beschriebener Hohlkörper, der mit einem ATR-Körper ausgestattet ist, eignet sich besonders gut für diese Messungen. In gleicher Weise kann z.B. auch der Reifegrad von Trauben bestimmt werden, indem der in Wirkverbindung mit einer erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung stehende ATR-Körper, beispielsweise in Ausgestaltung einer Tauchsonde oder des vorgenannten Hohlkörpers, in direktem Kontakt mit dem Fruchtfleisch gebracht oder in dieses eingetaucht wird.

Die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung ist insbesondere auch für die Bestimmung von Inhaltsstoffen insbesondere in der Medizin oder der Tiermedizin besonders geeignet. Beispielsweise können aus Körperflüssigkeiten wie Blut, Urin, Speichel oder Lymphe Inhaltsstoffe qualitativ und/oder quantitativ detektiert werden. Auf diese Weise werden Voraussetzungen für eine schnelle Diagnose geschaffen. So können beispielsweise mit Hilfe einer Durchflußzelle, falls gewünscht sogar On-line, das heißt im Echtzeitmodus, Blutinhaltsstoffe wie Glucose, Harnstoffe, Kreatinin oder Triglyceride sowie Alkohole, z.B. Ethanol, bestimmt werden. Demgemäß eignet sich die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung z.B. auch für den Einsatz bei der Dialyse. Das ausgetauschte Blut kann fortwährend auf insbesondere relevante oder kritische Inhaltsstoffe untersucht und der Zeitpunkt, zu dem das Blut hinreichend gereinigt ist, exakt ermittelt werden. Hierdurch entfallen unnötig lange Dialysezeiten. Auch aufgrund der klein dimensionierbaren ATR-Körper ist es unproblematisch, für die Verwendung bei der Dialyse auf wegwerfbare oder recycelbare Durchflußzellen zurückzugreifen. Zweckmäßigerweise ist eine solche Durchflußzelle als Modul ausgestaltet, das ohne weiteres in eine Meßstrecke, z.B. in eine blutleitende Kanüle, integriert werden kann.

Aufschluß über den Zustand des bei der Dialyse zu reinigenden Blutes kann darüber hinaus auch durch die mit Hilfe der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung vorgenommene spektroskopische Untersuchung der bei der Blutreinigung anfallenden Wasch- bzw. Austauschflüssigkeit liefern. Erfindungsgemäß wird besagte Meßvorrichtung auch für die Be-

stimmung von Inhaltsstoffen in dieser Waschflüssigkeit eingesetzt. Hiermit geht der Vorteil einher, daß die Messung nicht mehr unter sterilen Bedingungen stattzufinden hat, gleichwohl schnelle Aussagen über den Zustand des gereinigten Blutes möglich gemacht werden.

Für die Bestimmung z.B. der vorhergehend genannten Blutinhaltsstoffe mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung reichen aber auch bereits Mengen aus von etwa 100 µl, insbesondere wenn die erfindungsgemäße Meßvorrichtung enthaltend die ein kontinuierliches Spektrum emittierende Strahlungsquelle zum Einsatz kommt, sowie auch Mengen < 20 µl, insbesondere wenn die erfindungsgemäße Meßvorrichtung enthaltend den Quantenkaskadenlaser zum Einsatz kommt, um exakte Angaben darüber zu erhalten, welche Substanzen gegebenenfalls in welcher Konzentration z.B. im Blut vorliegen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Blutanalyseverfahren ist man auf wesentlich geringere Mengen an Blut angewiesen und kommt darüber hinaus auch ohne weitere Verbrauchsmittel wie Spritzenkörper und -kanülen aus. Zudem gestaltet sich die Entnahme kleiner Mengen an Blut wesentlich einfacher, z.B. auch im Hinblick auf die Einhaltung steriler Bedingungen.

In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform ist ein Urinal vorgesehen, umfassend ein Urinalbecken, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, vorzugsweise mit einer Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, vorzugsweise mit einer Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist. Eine Meßeinheit, umfassend den ATR-Körper, kann z.B. im Urinal selber oder in der herkömmlichen Abflußleitung des Urinals angebracht sein, liegt jedoch vorzugsweise in einer separaten oder von der Abflußleitung abgezweigten Leitung vor. Es reichen für diese Ausführungsform regelmäßig bereits mindestens zwei oder

drei, insbesondere mindestens sechs oder sieben an der Begrenzungswand zum Medium abgeschwächt totalreflektierte Meßstrahlen für ein zuverlässiges Ergebnis aus.

Um reproduzierbare Daten zu erhalten, ist die Meßzelle zweckmäßigerweise als Durchflußzelle mit einem reversibel verschließbaren Ein- und Ausgang ausgestattet. Zudem hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Meßeinheit bzw. -zelle, beispielsweise über entsprechende Kanalsysteme, thermostatiert werden kann. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn ein Mittel zum Reinigen der Meßeinheit mit z.B. Reinigungsflüssigkeit und/oder Wasser sowie gegebenenfalls ein Mittel zum Trocknen der Meßeinheit, z.B. ein Gebläse vorgesehen sind.

Ferner hat eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform ein Klosett zum Gegenstand, umfassend eine Klosettschüssel, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, vorzugsweise mit einer Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, vorzugsweise mit einer Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist. Es reichen für diese Ausführungsform regelmäßig bereits mindestens zwei oder drei, insbesondere mindestens sechs oder sieben an der Begrenzungswand zum Medium abgeschwächt totalreflektierte Meßstrahlen für ein zuverlässiges Ergebnis aus. Die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung oder eine Meßeinheit können z.B. entweder in die Abflußleitung des Klosetts integriert sein oder, was bevorzugt ist, in einer separaten oder von der Abflußleitung abgezweigten Leitung vorliegen. Wie beim vorhergehend beschriebenen Urinal kann auch die beim Klosett verwendete Meßzelle thermostatierbar sein. Mit der vorhergehend beschriebenen Kot-Analyse lassen sich z.B. charakteristische Angaben im Hinblick auf die vorliegenden Fette sowie deren Gehalte ermitteln. In den beiden vorhergehend beschriebenen Ausführungsformen steht die Meßeinheit vorzugsweise mit einer über ein Ventil regelbaren

Zuleitung für Reinigungsflüssigkeit in Verbindung, mit der nach jedem Meßvorgang die Meßeinheit/Meßzelle, insbesondere der ATR-Körper, gereinigt wird.

Ferner umfaßt die vorliegende Erfindung in einer weiteren Ausführungsform ein Urinal, umfassend ein Urinalbecken, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl einer kontinuierlichen Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, emittierenden IR-Lichtquelle einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl einer kontinuierlichen Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, emittierenden IR-Lichtquelle einkoppelbar ist. Eine Meßeinheit, umfassend den ATR-Körper, kann z.B. im Urinal selber oder in der herkömmlichen Abflußleitung des Urinals angebracht sein, liegt jedoch vorzugsweise in einer separaten oder von der Abflußleitung abgezweigten Leitung vor. Es reichen für diese Ausführungsform regelmäßig bereits mindestens zwei oder drei, insbesondere mindestens sechs oder sieben an der Begrenzungswand zum Medium abgeschwächt totalreflektierte Meßstrahlen für ein zuverlässiges Ergebnis aus. Um reproduzierbare Daten zu erhalten, ist die Meßzelle zweckmäßigerweise als Durchflußzelle mit einem reversibel verschließbaren Ein- und Ausgang ausgestattet. Zudem hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Meßeinheit bzw. -zelle, beispielsweise über entsprechende Kanalsysteme, thermostatiert werden kann. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn ein Mittel zum Reinigen der Meßeinheit mit z.B. Reinigungsflüssigkeit und/oder Wasser sowie gegebenenfalls ein Mittel zum Trocknen der Meßeinheit, z.B. ein Gebläse vorgesehen sind.

Ferner hat eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform ein Klosett zum Gegenstand, umfassend eine Klosettschüssel, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meß-

strahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl einer ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, emittierenden IR-Lichtquelle einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl einer ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, emittierenden IR-Lichtquelle, einkoppelbar ist. Die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung oder eine Meßeinheit können z.B. entweder in die Abflußleitung des Klosetts integriert sein oder, was bevorzugt ist, in einer separaten oder von der Abflußleitung abgezweigten Leitung vorliegen. Es reichen für diese Ausführungsform regelmäßig bereits mindestens zwei oder drei, insbesondere mindestens sechs oder sieben an der Begrenzungswand zum Medium abgeschwächt totalreflektierte Meßstrahlen für ein zuverlässiges Ergebnis aus. Wie beim vorhergehend beschriebenen Urinal kann auch die beim Klosett verwendete Meßzelle thermostatierbar sein. Mit der vorhergehend beschriebenen Kot-Analyse lassen sich z.B. charakteristische Angaben im Hinblick auf die vorliegenden Fette sowie deren Gehalte ermitteln. In den beiden vorhergehend beschriebenen Ausführungsformen steht die Meßeinheit vorzugsweise mit einer über ein Ventil regelbaren Zuleitung für Reinigungsflüssigkeit in Verbindung, mit der nach jedem Meßvorgang die Meßeinheit/Meßzelle, insbesondere der ATR-Körper, gereinigt wird.

Erfindungsgemäß ist weiterhin ein Hohlkörper, insbesondere eine Nadel, ein Rohr oder eine Tauchsonde, mit nicht-transparenten Seitenwandungen, insbesondere mit einem sich verjüngenden Ende, vorgesehen, bei dem in einem Endbereich oder an einem Ende, insbesondere im sich verjüngenden Ende, des Hohlkörpers ein ATR-Körper dichtend angebracht ist, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen umfaßt, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei durch das Innere des Hohlkörpers mindestens ein Laserstrahl, insbesondere eines Quantenkaskadenlasers, auf den ATR-Körper einkoppelbar und

mindestens ein IR-Meßstrahl an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers mindestens sechsmal entlang einer Meßstrecke abgeschwächt totalreflektierbar ist. In einer alternativen Ausführungsform des Hohlkörpers, insbesondere Nadel, Rohr oder Tauchsonde, ist ein ATR-Körper dichtend, zusätzlich oder ausschließlich, in einer Seitenwand angebracht, also z.B. in einer Mantelfläche von einer Nadel.

Derartige Hohlkörper eignen sich insbesondere als Meßzelle oder als Bestandteil insbesondere einer erfindungsgemäßen IR-Meßvorrichtung. Beispielsweise kann besagtes Rohr oder besagte Nadel für die invasive Bestimmung von Inhaltsstoffen im Blut von Lebewesen verwendet werden. Aufgrund der geringen Größe des in der Nadel-/Rohrspitze vorliegenden Miniatur-ATR-Körpers können mit einem derartigen Hohlkörper Echtzeitmessungen vorgenommen werden, beispielsweise bei Belastungstests von Leistungssportlern.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung betrifft eine Kanüle, insbesondere Stent, enthaltend mindestens eine IR-Meßzelle, insbesondere eine Durchflußzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, im wesentlichen parallelen Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, vorzugsweise mit einer Wellenlänge im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar und mindestens ein IR-Meßstrahl an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers mindestens sechsmal entlang der einer Meßstrecke abgeschwächt totalreflektierbar ist; und/oder mindestens einen vorhergehend beschriebenen Hohlkörper.

Dabei ist vorgesehen, daß der ATR-Körper der Kanüle, welche insbesondere eine vorhergehend beschriebene Infrarotmeßvorrichtung umfaßt, in Wirkverbindung mit mindestens einem Quantenkaskadenlaser und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht. Somit kann ein Laserstrahl in den ATR-Körper eingekoppelt werden.

Auch mit dieser Kanüle gelingt die quantitative und/oder qualitative Bestimmung von Inhaltsstoffen, insbesondere von Sacchariden, Harnstoff, Kreatinin und/oder Triglyceriden, z.B. in Körperflüssigkeiten von Lebewesen.

Erfindungsgemäß ist weiterhin vorgesehen, eine Meßeinheit/Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper für den automatisierten Analysebetrieb, z.B. mit Hilfe eines Analyseautomaten bzw. -roboters. Dieser Analyseautomat umfaßt neben besagter Meßzelle eine Spül- sowie eine Trockenvorrichtung für den ATR-Körper. Auf diese Weise kann z.B. eine Durchflußzelle bzw. eine verschließbare Durchflußzelle oder auch eine Tauchsonde nach dem Meßvorgang gereinigt und für die Folgemessung präpariert werden. Das vorhergehend beschriebene automatisierte Meßverfahren ermöglicht sehr kurze Meßzyklen. Beispielsweise reichen pro Meßvorgang bereits etwa 10 Sekunden aus, um beispielsweise sechs Inhaltsstoffe, z.B. im Blut oder Urin, bestimmen zu können. Somit kann unter Verwendung der erfindungsgemäßen Meßvorrichtung eine Vielzahl an Proben automatisiert infrarotspektroskopisch vermessen werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein ATR-Körper vorgesehen, umfassend einen ersten ATR-Körper und einen zweiten ATR-Körper, wobei der erste und der zweite ATR-Körper zumindest derart in Kontakt stehen, daß ein Meßstrahl über den ersten ATR-Körper in den zweiten ATR-Körper einkoppelbar und dieser Meßstrahl aus dem zweiten in den ersten ATR-Körper wieder auskoppelbar ist, wobei der zweite ATR-Körper mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen aufweist, von denen die erste Begrenzungsfläche einem zu analysierenden Medium aussetzbar ist und die zweite Begrenzungsfläche dem ersten ATR-Körper zugewandt ist und mit diesem mindestens einen abgeschlossenen, insbesondere evakuierten oder mit Gas gefüllten, Hohlraum ausbildet. Mit dieser Ausführungsform eines ATR-Körpers gelingt es, den Einsatz teurer, besonders unempfindlicher oder resistenter und/oder nicht-toxischer oder in dem zu analysierenden Medium nicht löslicher ATR-Materialien auf denjenigen Oberflächenbereich zu beschränken, der mit dem Medium in Kontakt tritt. Damit ist es möglich, einen ATR-Grundkörper aus z.B. Zinkselenid, das im allgemeinen toxisch ist, oder Natriumchlorid, das sich in wässrigen Medien auflöst, einzusetzen.

Die erfindungsgemäße FT-IR-Meßvorrichtung sowie die erfindungsgemäße ATR/Quantenkaskadenlaser-IR-Meßvorrichtung sind insbesondere auch für die Bestimmung von Inhaltsstoffen insbesondere in der Lebensmittelanalytik, der Medizin oder der Tiermedizin besonders geeignet. Beispielsweise können aus Körperflüssigkeiten wie Blut, Urin, Speichel oder Lymphe Inhaltsstoffe qualitativ und/oder quantitativ detektiert werden. Auf diese Weise werden Voraussetzungen für eine schnelle Diagnose geschaffen. So können beispiels-

weise mit Hilfe einer Durchflußzelle, falls gewünscht sogar On-line, das heißt im Echtzeitmodus, Blutinhaltsstoffe wie Glucose, Harnstoffe, Kreatinin oder Triglyceride sowie Alkohole, z.B. Ethanol, bestimmt werden. Demgemäß eignet sich die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung z.B. auch für den Einsatz bei der Dialyse. Das ausgetauschte Blut kann fortwährend auf insbesondere relevante oder kritische Inhaltsstoffe untersucht und der Zeitpunkt, zu dem das Blut hinreichend gereinigt ist, exakt ermittelt werden. Hierdurch entfallen unnötig lange Dialysezeiten. Auch aufgrund der klein dimensionierbaren ATR-Körper ist es unproblematisch, für die Verwendung bei der Dialyse auf wegwerfbare oder recycelbare Durchflußzellen zurückzugreifen. Zweckmäßigerweise ist eine solche Durchflußzelle als Modul ausgestaltet, das ohne weiteres in eine Meßstrecke, z.B. in eine blutleitende Kanüle, integriert werden kann.

Aufschluß über den Zustand des bei der Dialyse zu reinigenden Blutes kann darüber hinaus auch durch die mit Hilfe der erfindungsgemäßen Infrarotmeßvorrichtung vorgenommene spektroskopische Untersuchung der bei der Blutreinigung anfallenden Wasch- bzw. Austauschflüssigkeit liefern. Erfindungsgemäß wird besagte Meßvorrichtung auch für die Bestimmung von Inhaltsstoffen in dieser Waschflüssigkeit eingesetzt. Hiermit geht der Vorteil einher, daß die Messung nicht mehr unter sterilen Bedingungen stattzufinden hat, gleichwohl schnelle Aussagen über den Zustand des gereinigten Blutes möglich gemacht werden.

Als Detektoren für die Registrierung der Meßstrahlung kann auf alle gängigen, in Infrarotmeßvorrichtungen zum Einsatz kommenden Systeme zurückgegriffen werden. In einer weiteren Ausführungsform können auch Detektoren, wie aus der photoakustischen Spektroskopie bekannt, eingesetzt werden. Einzelheiten zur photoakustischen Spektroskopie sind dem Fachmann bekannt und sind zum Beispiel in „Optische Spektroskopie“, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1994, Kap. 6, beschrieben.

Mit den erfindungsgemäßen Meßvorrichtungen, insbesondere der ATR/Quantenkaskadenlaser-IR-Meßvorrichtung, gelingt es, die Meßapparatur erheblich zu miniaturisieren, ohne selbst bei der Analyse wässriger Mehrkomponentensysteme Einbußen bei der Meßgenauigkeit oder -qualität hinnehmen zu müssen. Dabei stellen auch die sehr ausgeprägten Wasserbanden im Infraroten keine Beeinträchtigung mehr dar. Beispielsweise sind mit den erfindungsgemäßen Vorrichtungen wellenlängenspezifisch Signale detektierbar bzw. unterscheidbar, die sich in ihren Intensitäten um ein Vielfaches oder gar um eine oder mehrere

Größenordnungen, beispielsweise um den Faktor 1000 unterscheiden. Folglich lassen sich mit diesen Vorrichtungen z.B. Mehrkomponentensysteme analysieren, die ein starkes Grundrauschen verursachen. Zudem gelingt mit diesen Vorrichtungen ein sehr hoher Lichtdurchsatz.

Zur Detektion einer Substanz reicht jeweils bereits Meßstrahlung einer bestimmten Wellenlänge aus. Unabhängig davon, wieviele Substanzen analysiert werden, ist es stets ausreichend, nur einen einzigen Referenzmeßstrahl für eine exakte qualitative und quantitative Bestimmung einzusetzen. Werden also z.B. n Substanzen mit n Meßstrahlen, die sich jeweils in ihrer Wellenlänge unterscheiden, analysiert, reicht ein einzelner Referenzmeßstrahl zur Vervollständigung der Messung, so daß insgesamt nur $n+1$ Strahlen zu verwenden sind.

Schließlich sind mit den erfindungsgemäßen Vorrichtungen bereits anhand der wellenlängenspezifischen Intensitätsinformationen alle für eine vollständige Analyse erforderlichen Angaben erhältlich, ohne daß es vorliegend der Auswertung der Polarisationsseigenschaften der Meßstrahlung bedürfte.

Weitere Ausführungsformen der Erfindung werden anhand der nachfolgenden Abbildungen im Detail beschrieben, ohne daß die Erfindung auf diese besonderen Ausgestaltungen beschränkt sein soll. Es zeigen

- Figur 1 eine erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung mit Durchflußzelle in schematischer Darstellung;
- Figur 2 eine erfindungsgemäße Meßeinheit in schematischer Darstellung im Längsschnitt;
- Figur 3 eine erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung mit Durchflußzelle in schematischer Darstellung; und
- Figur 4 einen Längsschnitt durch einen beschichteten ATR-Körper.

Wie Figur 1 zu entnehmen ist, kann eine erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung in einer Ausführungsform mit einer Durchflußzelle 1 ausgestattet sein. Eine Längswand 5a der Durch-

flußzelle 1 wird von einem ATR-Körper 2 mit trapezförmigem Querschnitt gebildet. Der ebenen Begrenzungsfläche 5a liegt eine die Rückseite des ATR-Körpers begrenzende parallele Wandungsfläche 5b gegenüber. Die Durchflußzelle 1 ist mit einem zylinderförmigen Kanal 3 ausgestattet, der vorliegend geradlinig durch die Durchflußzelle 1 geführt wird. Ein Lichtstrahl wird über den Quantenkaskadenlaser 4 über die Schmalseite des ATR-Körpers 2 eingeführt und trifft auf die ebene Begrenzungsfläche 5a, an die das zu untersuchende Medium angrenzt. Nach mehrmaliger, insbesondere mindestens sechs- oder siebenmaliger, abgeschwächter Totalreflektion entlang der Meßstrecke wird der austretende Lichtstrahl mit Hilfe eines Detektors 6 registriert und das Signal an eine Auswerteeinheit 7 weitergegeben. Nicht abgebildet bei der Strahlungsquelle bzw. dem Detektor ist jeweils eine Spiegeloptik, mit deren Hilfe z.B. die Strahlführung optimiert und gesteuert wird. Geeignete Spiegeloptiken sind dem Fachmann jedoch hinlänglich bekannt, insbesondere auch im Zusammenhang mit Infrarotspektrometern. Der Durchfluß des Probemediums wird unterstützt durch eine Pumpe 8, bei der es sich beispielsweise um eine Peristaltik- oder Piezopumpe handeln kann. Über ein Steuerventil 9 kann wahlweise entweder das zu analysierende Medium oder eine Spül- oder Referenzlösung, die auch einem separaten Behältnis 10 entstammen kann, durch die Durchflußzelle geleitet werden. Falls die Meßlösung auch quantitativ vermessen werden soll, empfiehlt es sich, auch ein Gebläse (nicht abgebildet) vorzusehen, um insbesondere den ATR-Körper vor jeder neuen Messung trocken zu blasen.

In einer besonderen Ausgestaltung kann es sich bei der Durchflußzelle 1 um eine solche handeln, die ausgewechselt, das heißt durch eine andere Durchflußzelle, z.B. auch mit einem unterschiedlichen ATR-Körper ersetzt, werden kann. Auswechselbare Durchflußzellen kommen insbesondere immer dann zur Anwendung, wenn sichergestellt werden soll, daß sterile Bedingungen eingehalten werden und/oder das Meßergebnis auf gar keinen Fall durch gegebenenfalls auf der Oberfläche des ATR-Körpers haften gebliebene Rückstände der zuvor vermessenen Probe verfälscht werden soll, beispielsweise bei der Dialyse. Die ausgewechselten Durchflußzellen können entweder entsorgt oder recycelt werden.

Weiterhin kann gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung ein optischer Multiplexer 17 vorgesehen sein, der zum einen wellenlängenspezifisch die Abstrahlungsfolge bzw. das Abstrahlungsmuster und/oder die Intensitäten der Meßstrahlung des Quantenkaskadenlasers 4 steuert und mit diesem in Wirkverbindung steht und der zum anderen ebenfalls wellenlängenspe-

zifisch den Detektor 6 und/oder die Auswerteeinheit 7, z.B. die gleichzeitige und/oder sequentielle Detektierung der Meßstrahlung, regelt.

Figur 2 ist eine Meßeinheit 11 zu entnehmen, in der ein beschichteter, zweiteiliger ATR-Körper 12 aus im wesentlichen Zinkselenid in einen Halter 13 eingelassen ist. Der ATR-Grundkörper 12 aus Zinkselenid ist mit einer Schicht bzw. einem separaten ATR-Körper, insbesondere in Plattenform, 14 aus Diamant versehen, deren eine ebene Begrenzungsfläche 5a mit dem zu analysierenden Medium in Verbindung kommt und deren hierzu parallele Begrenzungsfläche 5b im Inneren des ATR-Körpers einen evakuierten oder mit Luft oder Gas gefüllten Hohlraum 15 abgrenzt. Der ATR-Grundkörper 12 verfügt über mehrere ebene Begrenzungsflächen, an denen der einfallende Infrarotstrahl reflektiert wird. Der Halter 11 kann einen Kanal oder ein Kanalsystem 16 zur Thermostatierung der Meßzelle aufweisen. Der Infrarotstrahl nimmt wiederum seinen Ausgang bei der Lichtquelle 4', z.B. in Form eines Quantenkaskadenlasers, und wird über die Detektoreinheit 6' registriert. Das bzw. die detektierten Signale werden in der Auswerteeinheit 7' analysiert bzw. aufbereitet. Um mit der abgebildeten Meßeinheit hinreichend genaue infrarotspektrometrische Untersuchungen vornehmen zu können, reicht es aus, wenn die Seitenlänge bzw. der Durchmesser der dem Medium zugewandten Begrenzungsfläche, d.h. die Meßstrecke der Diamantschicht im Bereich von etwa 4 bis 5 mm liegt. Probenvolumina $< 100 \mu\text{l}$ sowie selbst solche im Bereich von 5 bis $50 \mu\text{l}$, also z. B. $10 \mu\text{l}$, können ohne weiteres mit der dargestellten Meßzelle auf das Vorliegen einer oder mehrerer Substanzen untersucht werden. Mehrere Substanzen können gleichzeitig nebeneinander bestimmt werden. Selbstverständlich kann ebenfalls ein Multiplexer 17 gemäß Figur 1 vorgesehen sein (nicht abgebildet).

Die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung erlaubt damit erstmals einen einfachen verlässlichen und kostengünstigen Zugang für die Analyse und Charakterisierung von insbesondere polaren Substanzen, z.B. solchen mit Hydroxyfunktionen, selbst in wässrigen Systemen mit hoher Genauigkeit. Von Vorteil ist weiterhin, daß auch kleinste Probemengen insbesondere auch kontinuierlich detektiert werden können. Als vorteilhaft hat sich ebenfalls erwiesen, daß die erfindungsgemäße Infrarotmeßvorrichtung, insbesondere die verwendete Meßeinheit sowie die Kombination aus Meßeinheit und Quantenkaskadenlaser, gegebenenfalls auch unter Einschluß eines Detektors oder optischen Multiplexers, extrem erschütterungsunempfindlich ist und darüber hinaus eine miniaturisierte Bauweise erlaubt.

Wie der Figur 3 zu entnehmen ist, entspricht die erfindungsgemäße Ausführungsform einer Infrarotmeßvorrichtung, die sich einer Meßstrahlung mit einem kontinuierlichen Spektrum bedient, im wesentlichen dem in Fig. 1 gezeigten Aufbau. Dabei wird ein Lichtstrahl über die IR-Lichtquelle 4a, enthaltend ebenfalls ein Interferometer, mit dessen Hilfe interferenzmoduliertes Licht erzeugt werden kann, über die Schmalseite des ATR-Körpers 2 eingeführt und trifft auf die ebene Begrenzungsfläche 5a, an die das zu untersuchende Medium angrenzt. Nach mehrmaliger, insbesondere mindestens sechs- oder siebenmaliger, abgeschwächter Totalreflektion wird der austretende Lichtstrahl mit Hilfe eines Detektors 6 registriert und das Signal an eine Auswerteeinheit 7, mit deren Hilfe die Fourier-Transformation vorgenommen wird, weitergegeben.

In einer besonderen Ausgestaltung kann es sich bei der Durchflußzelle 1 um eine solche handeln, die ausgewechselt, das heißt durch eine andere Durchflußzelle, z.B. auch mit einem unterschiedlichen ATR-Körper ersetzt, werden kann.

Gemäß Figur 4 kann eine Meßeinheit 1, 11 einen ATR-Körper 12, insbesondere mit trapezförmigem Querschnitt, umfassen, der auf derjenigen ebenen Begrenzungsfläche 5a, die dem Probenmedium ausgesetzt ist, mit einer Beschichtung 14, insbesondere einer Diamantschicht, versehen ist. An die Beschichtung schließt sich ein Raum 13 zur Aufnahme von Probenflüssigkeit an, der auch als Rohr bzw. Rohrleitung ausgestaltet sein kann, womit die Meßeinheit 11 auch eine Durchflußzelle darstellen kann. Figur 4 ist darüber hinaus ein Ausschnitt im Bereich der beschichteten Begrenzungsfläche in vergrößerter Darstellung zu entnehmen.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Ansprüchen sowie in den Zeichnungen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

- 1 Meßzelle, Durchflußzelle
- 2 ATR-Körper
- 3 zylinderförmiger Kanal
- 4, 4' Quantenkaskadenlaser
- 4a IR-Lichtquelle, enthaltend ein Interferometer
- 5a parallele ebene Begrenzungsfläche des ATR-Körpers 2
- 5b ebene Begrenzungsfläche des ATR-Körpers 2
- 6, 6' Detektor
- 7, 7' Auswerteeinheit
- 8 Pumpe
- 9 Steuerventil
- 10 separates Behältnis für Spül- und/oder Referenzlösung
- 11 Meßeinheit
- 12 beschichteter ATR-Körper
- 13 Halter
- 14 Beschichtung, Diamantschicht
- 15 Hohlraum im ATR-Körper 12
- 16 Kanalsystem zur Thermostatierung der Meßeinheit 11
- 17 Optischer Multiplexer

Ansprüche

1. Infrarotmeßvorrichtung, insbesondere für die Spektrometrie wässriger Systeme, umfassend mindestens eine Meßeinheit, insbesondere eine Meßzelle, umfassend mindestens einen ATR-Körper und mindestens eine Infrarot-Lichtquelle, dadurch gekennzeichnet, daß
die Meßeinheit mindestens einen ATR-Körper (2) enthält, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen (5a, 5b) umfaßt, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei die IR-Meßstrahlung an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen (5a) des ATR-Körpers (2) mindestens sechsmal abgeschwächt totalreflektierbar ist.
2. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch
mindestens eine, insbesondere computergestützte, Auswerteeinheit (7, 7') und/oder mindestens einen Detektor (6, 6').
3. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß
die Auswerteeinheit (7, 7') gegen eine zweite oder eine weitere Auswerteeinheit (7, 7') auswechselbar ist.
4. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
die Infrarot-Lichtquelle einen oder mehrere Quantenkaskadenlaser (4, 4') oder eine ein kontinuierliches oder ein Mehrwellenlängen-Spektrum emittierende Strahlungsquelle (4a) darstellt, wobei die Strahlung dieser Strahlungsquelle (4a) mit einem in oder auf der Meßeinheit aufnehmbaren Probensystem wechselwirkt und wobei das vom Detektor (6) aufgezeichnete Interferogramm in der Auswerteeinheit (7) über Fourier-Transformation auswertbar ist.
5. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

die ebenen, im wesentlichen parallelen Begrenzungsflächen (5a, 5b) im wesentlichen unverspiegelt sind.

6. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
die IR-Meßstrahlung Mittel-Infrarotstrahlung (MIR) darstellt.
7. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
von dem oder den Quantenkaskadenlaser(n) (4, 4') elektromagnetische Strahlung mindestens einer definierten Frequenz, insbesondere mit vorgegebener, definierter Intensität, oder mindestens eines definierten Frequenzbandes, insbesondere mit vorgegebener, definierter Intensität, abstrahlbar ist.
8. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
von zwei oder mehreren Quantenkaskadenlasern (4, 4') elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Frequenzen, insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, und/oder unterschiedlicher Frequenzbänder, insbesondere aus dem Mittel-Infrarotbereich und/oder insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, abstrahlbar ist.
9. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß
von mindestens zwei Quantenkaskadenlasern (4, 4') elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Frequenz, insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, und/oder Frequenzbänder, insbesondere aus dem Mittel-Infrarotbereich und/oder insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, zeitgleich oder nahezu zeitgleich abstrahlbar ist.
10. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
von ein oder mehreren Quantenkaskadenlasern (4, 4') elektromagnetische Strahlung unterschiedlicher Frequenz, insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, und/oder unterschiedlicher Frequenzbänder, insbesondere aus dem Mittel-

Infrarotbereich und/oder insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, in zeitlicher Abfolge abstrahlbar ist.

11. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
von einem Quantenkaskadenlaser (4, 4') emittierte elektromagnetische Strahlung in Form von Pulsen mit definierter Zeitdauer, insbesondere mit jeweils vorgegebener, definierter Intensität, abgebar ist.
12. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß
die Dauer der Pulse, insbesondere bei elektromagnetischer Strahlung unterschiedlicher Frequenzen oder Frequenzbänder, unterschiedlich lang und/oder die Intensität der Pulse unterschiedlich stark ist.
13. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß
unterschiedliche Frequenzen oder Frequenzbänder der von einem oder von mehreren Quantenkaskadenlasern (4, 4') herrührenden elektromagnetischen Strahlung in sequentieller oder beliebiger Abfolge abstrahlbar sind.
14. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß
die elektromagnetische Meßstrahlung und/oder deren Intensität gemäß einem Multiplex-Muster, insbesondere wellenlängenspezifisch steuerbar, pulswise abstrahlbar und/oder gemäß einem Multiplex-Muster, insbesondere korrespondierend zu dem Multiplex-Muster der gepulsten Meßstrahlung, detektierbar ist.
15. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
die Meßzelle (1) eine, insbesondere druckstabile, Durchflußzelle oder eine im Eingangs- und Ausgangsbereich jeweils reversibel verschließbare, insbesondere druckstabile, Durchflußzelle oder die Meßzelle (1) oder der ATR-Körper (2) eine, insbesondere druckstabile, Tauchsonde darstellt.
16. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

der ATR-Körper (2) mindestens eine Wandung einer Meßzelle oder einen Teil davon oder die Meßzelle (1) darstellt.

17. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
der ATR-Körper (2) aus Diamant, Saphir, Cadmiumtellurid, Thalliumbromid-Jodid, Silizium, Germanium, Zinkselenid, Zinksulphid, Magnesiumdifluorid, Cäsiumjodid, Silberchlorid, Kalziumdifluorid, Kaliumbromid, Natriumchlorid und/oder einem für Infrarotstrahlung transparenten Werkstoff, insbesondere Polymerwerkstoff, mit einem Brechungsindex vorzugsweise ≥ 1.5 , insbesondere aus Polyethylen, gebildet wird.
18. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß
über die Auswerteeinheit (7, 7') Faktoranalysen, Multiple Least Square Algorithmen oder neuronale Netzwerk-Analysen auf der Basis der beim Detektor (6, 6') eingehenden Signale für deren Auswertung durchführbar sind.
19. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
wenigstens der ATR-Körper (2) und/oder die Meßeinheit (1) thermostatierbar ist bzw. sind.
20. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
die Meßeinheit (1) druckstabil ist, insbesondere gegenüber Drücken bis zu 100 bar.
21. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß
der ATR-Körper (2, 12) wenigstens auf einer Begrenzungsfläche (5), die dem zu analysierenden Medium aussetzbar ist, eine für die Meßstrahlung, insbesondere für das evaneszente Feld, transparente Beschichtung (14) umfaßt.
22. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß
die Beschichtung (14) eine Stärke aufweist, die geringer ist als die, vorzugsweise hal-

be, Wellenlänge der verwendeten Infrarotmeßstrahlung, insbesondere im Bereich von etwa 2 nm bis etwa 25 μm , vorzugsweise von etwa 2 μm bis etwa 10 μm .

23. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (14) eine Stärke aufweist im Bereich von einem Viertel der Wellenlänge der verwendeten Meßstrahlung.
24. Infrarotmeßvorrichtung nach Anspruch 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Beschichtung (14) eine ATR-Körper-Materialschicht, insbesondere eine Diamantschicht, umfaßt und daß der beschichtete ATR-Körper vorzugsweise Zinkselenid und/oder Zinksulfid umfaßt.
25. Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor (6, 6') einen photoakustischen Detektor umfaßt.
26. Verwendung der Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25 zur, insbesondere im wesentlichen gleichzeitigen, qualitativen und/oder quantitativen Bestimmung von Inhaltsstoffen, insbesondere von Sacchariden, Harnstoff, Kreatinin, Triglyceriden, Kohlensäure, Protein, Alkoholen und/oder Phosphorsäureestern, in nicht-wässrigen und insbesondere wässrigen Systemen.
27. Verwendung nach Anspruch 26, wobei als wässriges System insbesondere Bier, Wein, Fruchtsaft, Spirituosen oder Softdrinks eingesetzt wird.
28. Verwendung nach Anspruch 26, wobei als wässriges System Urin und/oder Kot eingesetzt wird.
29. Verwendung nach Anspruch 26, wobei als wässrige Systeme Lymphe, Speichel und/oder Blut eingesetzt wird.
30. Verwendung nach Anspruch 26, wobei als wässriges System die bei der Dialyse anfallende Waschflüssigkeit eingesetzt wird.
31. Verwendung nach Anspruch 26, wobei als wässriges System Prozeßflüssigkeit, Abwasser oder Waschlauge eingesetzt wird.

32. Verwendung der Infrarotmeßvorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 25 zur qualitativen und/oder quantitativen Bestimmung von Inhaltsstoffen in Obst und Gemüse.
33. Verwendung der Infrarotmeßvorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 25 zur qualitativen und/oder quantitativen Bestimmung von Inhaltsstoffen in Milch und Milchprodukten.
34. Urinal, umfassend ein Urinalbecken, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, einkoppelbar ist.
35. Urinal nach Anspruch 34, insbesondere umfassend eine Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der ATR-Körper in Wirkverbindung mit mindestens einem Quantenkaskadenlaser und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht.
36. Klosett, umfassend eine Klosettschüssel, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend minde-

stens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers, einkoppelbar ist.

37. Klosett nach Anspruch 36, insbesondere umfassend eine Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der ATR-Körper in Wirkverbindung mit mindestens einem Quantenkaskadenlaser und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht.
38. Urinal, umfassend ein Urinalbecken, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, umfassend ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, umfassend ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist.
39. Urinal nach Anspruch 38, insbesondere umfassend eine Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der ATR-Körper in Wirkverbindung mit mindestens einer Lichtquelle, die ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum im Infrarotbereich emittiert, und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht.

40. Klosett, umfassend eine Klosettschüssel, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, umfassend ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist; und/oder mindestens eine Abflußleitung, in die eine Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, insbesondere im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Lichtstrahl, umfassend ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum, insbesondere im mittleren Infrarotbereich, einkoppelbar ist.
41. Klosett nach Anspruch 40, insbesondere umfassend eine Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der ATR-Körper in Wirkverbindung mit mindestens einer Lichtquelle, die ein kontinuierliches Spektrum oder ein Mehrwellenlängenspektrum im Infrarotbereich emittiert, und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht.
42. Hohlkörper, insbesondere eine Nadel, ein Rohr oder eine Tauchsonde, mit nicht-transparenten Seitenwandungen, insbesondere mit einem sich verjüngenden Ende, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Endbereich oder an einem Ende, insbesondere im sich verjüngenden Ende, oder in einer Mantelfläche des Hohlkörpers ein ATR-Körper dichtend angebracht ist, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen umfaßt, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei durch das Innere des Hohlkörpers mindestens ein Laserstrahl auf den ATR-Körper einkoppelbar und mindestens ein IR-Meßstrahl an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers, mindestens sechsmal entlang der Meßstrecke abgeschwächt totalreflektierbar ist.

43. Verwendung des Hohlkörpers gemäß Anspruch 42 als Meßeinheit oder als Bestandteil einer Meßeinheit einer Infrarotmeßvorrichtung, insbesondere einer Meßvorrichtung gemäß den Ansprüchen 1 bis 25.
44. Verwendung des Hohlkörpers, insbesondere des Rohres oder der Nadel, gemäß Anspruch 42 für die invasive Bestimmung von Inhaltsstoffen in Körperflüssigkeiten, insbesondere im Blut, von Lebewesen.
45. Kanüle, insbesondere Stent, enthaltend mindestens eine Meßzelle, insbesondere eine Durchflußzelle, enthaltend mindestens einen ATR-Körper mit mindestens zwei ebenen, im wesentlichen parallelen, Begrenzungsflächen, der für die Meßstrahlung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, in den ein Laserstrahl, insbesondere mindestens ein Strahl eines Quantenkaskadenlasers einkoppelbar und mindestens ein IR-Meßstrahl an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen des ATR-Körpers, mindestens sechsmal entlang der Meßstrecke abgeschwächt totalreflektierbar ist; und/oder mindestens einen Hohlkörper gemäß Anspruch 42.
46. Kanüle nach Anspruch 45, insbesondere umfassend eine Infrarotmeßvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der ATR-Körper in Wirkverbindung mit mindestens einem Quantenkaskadenlaser und/oder einem Detektor und/oder einer Auswerteeinheit steht.
47. Verwendung der Kanüle nach Anspruch 45 oder 46 für die, insbesondere im wesentlichen gleichzeitige, quantitative und/oder qualitative Bestimmung von, insbesondere zwei, drei, vier, fünf, sechs oder mehr, Inhaltsstoffen, insbesondere von Sacchariden, Harnstoff, Kreatinin und/oder Triglyceriden, in Mehrkomponentenmischungen, insbesondere in Körperflüssigkeiten von Lebewesen.
48. Meßeinheit, insbesondere Meßzelle, umfassend mindestens einen ATR-Körper, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinheit mindestens einen ATR-Körper (2) enthält, der mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen (5a, 5b) umfaßt, der für die Meßstrahlung

lung transparent oder teilweise transparent ist und der einen Brechungsindex aufweist, der größer ist als der eines an mindestens eine Begrenzungsfläche angrenzenden, zu untersuchenden Mediums, insbesondere größer oder gleich 1.5, wobei die Meßeinheit druckstabil ist, insbesondere gegenüber Drücken bis 100 bar, und wobei mindestens ein IR-Meßstrahl an mindestens einer der ebenen, parallelen Begrenzungsflächen (5a) des ATR-Körpers (2), mindestens sechsmal entlang einer Meßstrecke abgeschwächt totalreflektierbar ist.

49. Analyseautomat, umfassend mindestens eine Infrarotmeßvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 25, einen Hohlkörper gemäß dem Anspruch 42 und/oder eine Meßeinheit gemäß Anspruch 48, mindestens eine Spülvorrichtung für die Meßeinheit und/oder den ATR-Körper und/oder mindestens eine Trockenvorrichtung für die Meßeinheit und/oder den ATR-Körper.
50. ATR-Körper, umfassend einen ersten ATR-Körper und einen zweiten ATR-Körper, wobei der erste und der zweite ATR-Körper zumindest derart in Kontakt stehen, daß ein Meßstrahl über den ersten ATR-Körper in den zweiten ATR-Körper einkoppelbar und dieser Meßstrahl aus dem zweiten in den ersten ATR-Körper wieder auskoppelbar ist, wobei der zweite ATR-Körper mindestens zwei ebene, im wesentlichen parallele Begrenzungsflächen aufweist, von denen die erste Begrenzungsfläche einem zu analysierenden Medium aussetzbar ist und die zweite Begrenzungsfläche dem ersten ATR-Körper zugewandt ist und mit diesem mindestens einen abgeschlossenen, insbesondere evakuierten oder mit Gas gefüllten, Hohlraum ausbildet.
51. Verfahren zur, insbesondere im wesentlichen gleichzeitigen, qualitativen und/oder quantitativen Bestimmung von Inhaltsstoffen in, insbesondere wässrigen, Mehrkomponentensystemen unter Verwendung einer Infrarotmeßvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 25, einer Meßeinheit gemäß Anspruch 48, eines Analyseautomaten gemäß Anspruch 49 oder eines ATR-Körpers gemäß Anspruch 50, wobei der/die Meßstrahl/en mindestens sechsmal, insbesondere siebenmal, an einer Meßstrecke mindestens einer ebenen Begrenzungsfläche des ATR-Körpers, die unmittelbar oder über eine Beschichtung an das zu untersuchende Medium des Mehrkomponentensystems angrenzt, abgeschwächt totalreflektiert wird bzw. werden.

Fig. 1

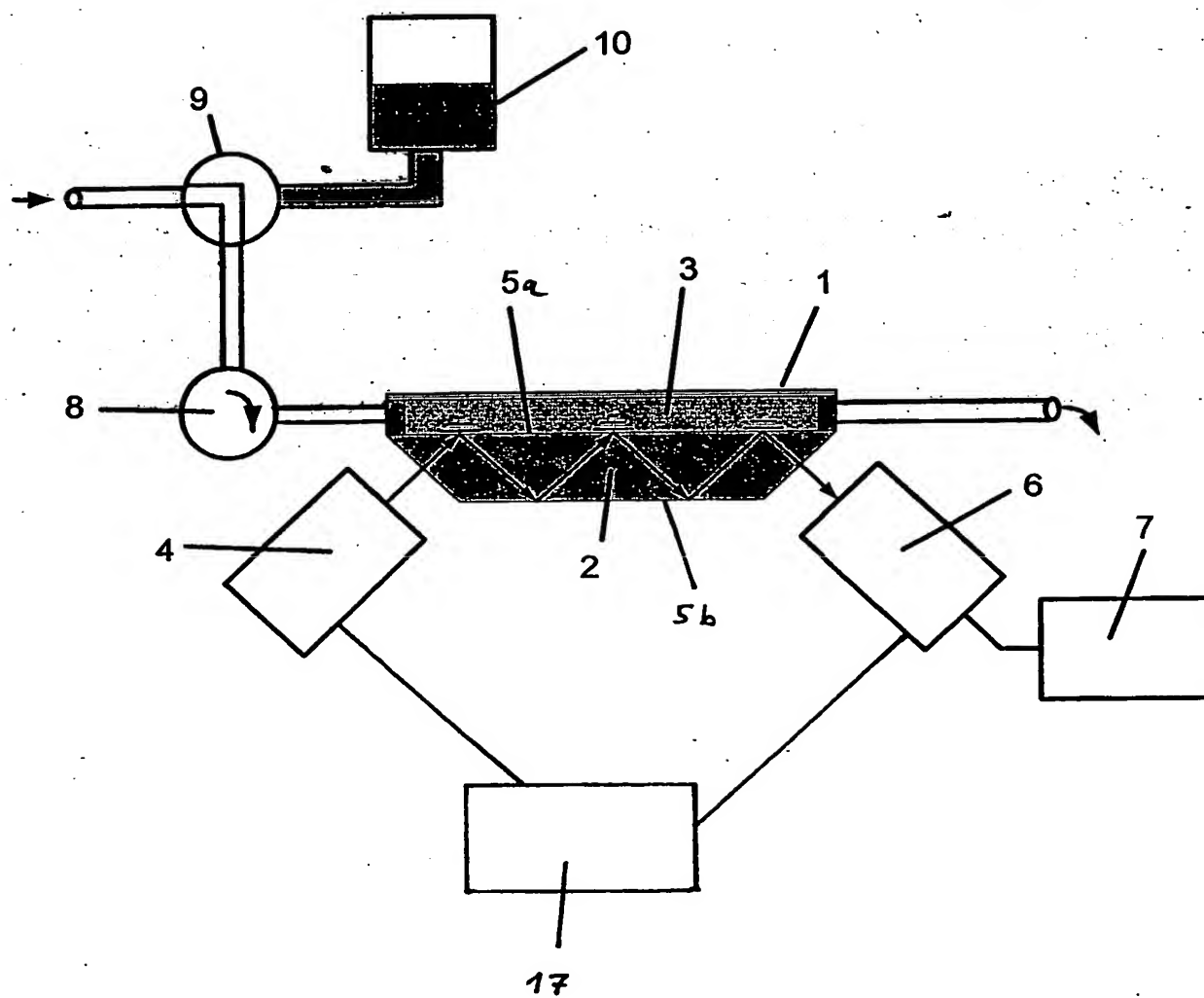


Fig. 2

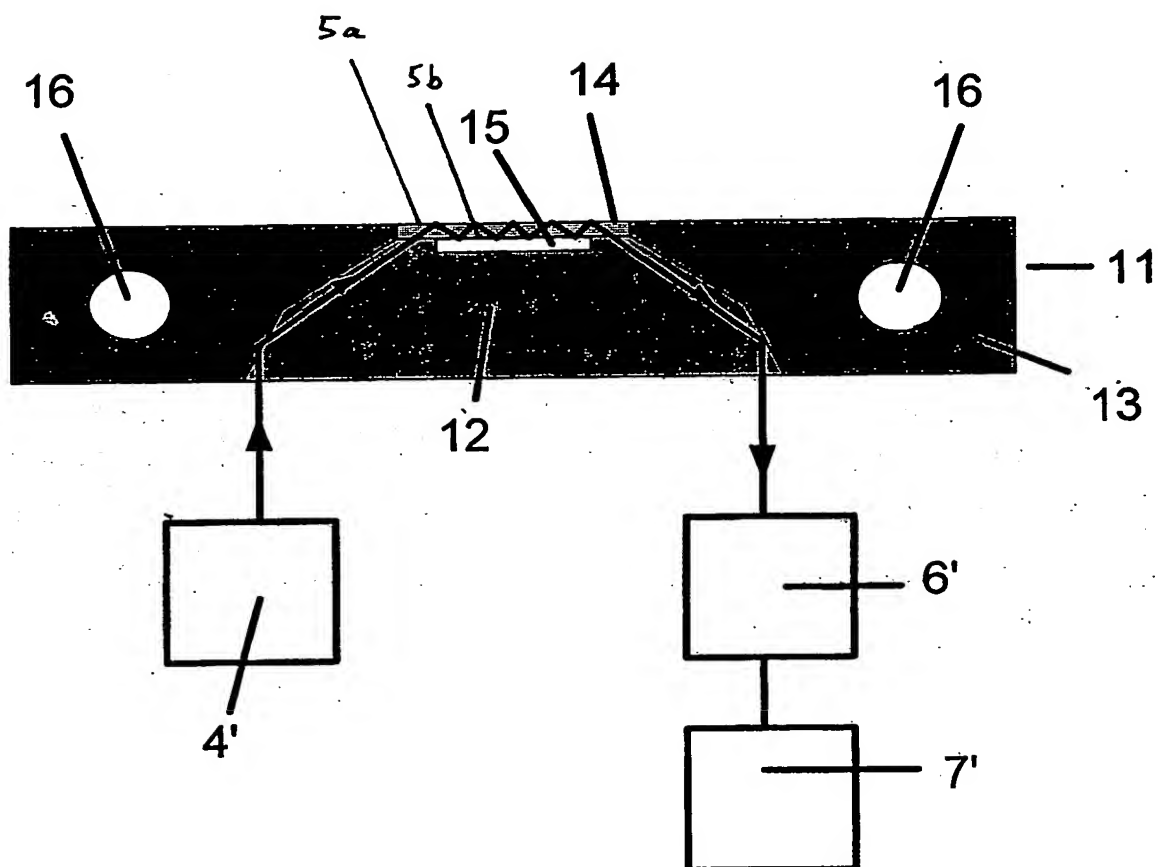


Fig. 3

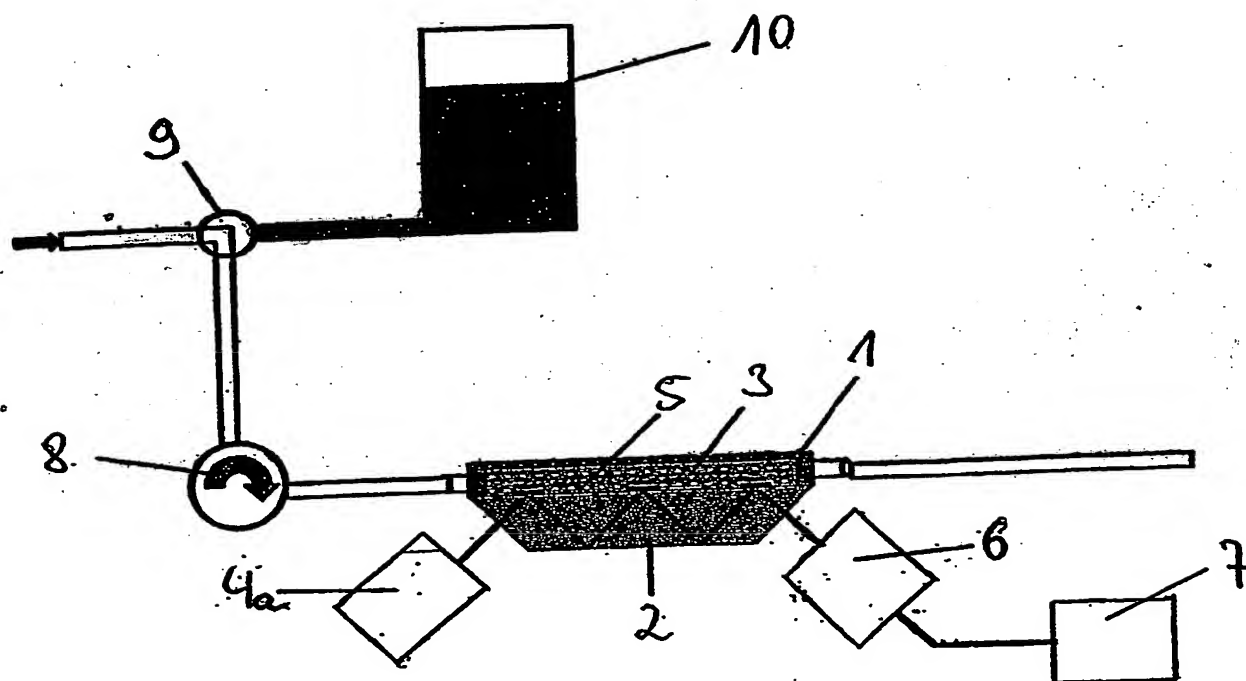
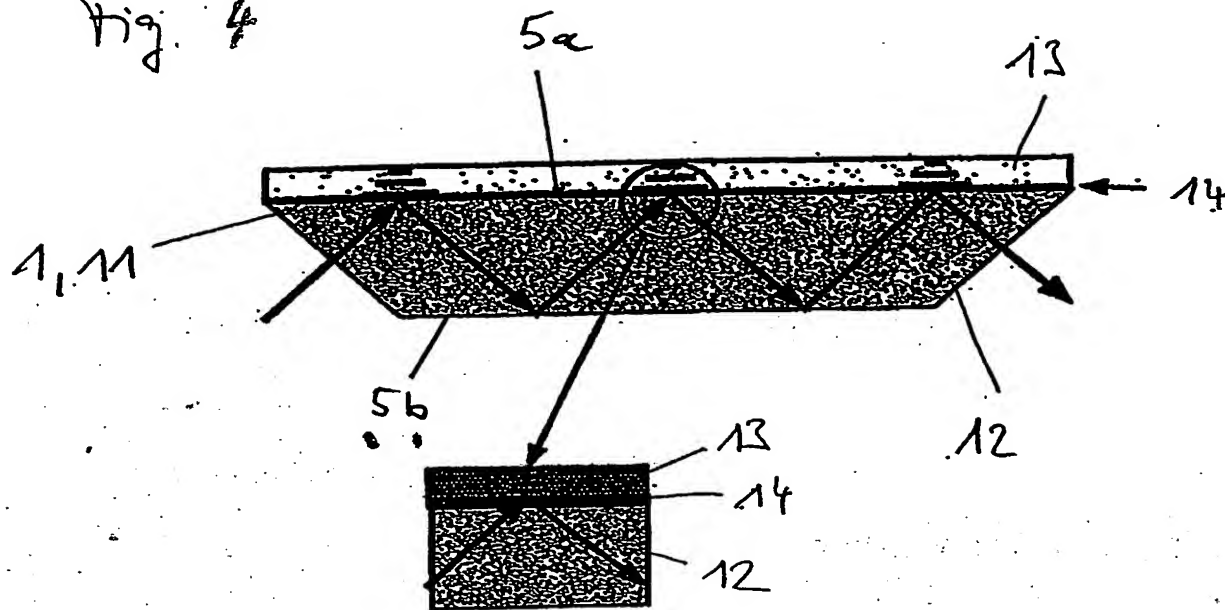


Fig. 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.